

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Sven Maček

**ANALIZA PRIMJENE INFORMACIJSKO-
KOMUNIKACIJSKIH USLUGA MOBILNE MREŽE PETE
GENERACIJE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA PRIMJENE INFORMACIJSKO-
KOMUNIKACIJSKIH USLUGA MOBILNE MREŽE PETE
GENERACIJE**

**ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE INFORMATION
AND COMMUNICATION SERVICES OF THE FIFTH
GENERATION OF MOBILE NETWORK**

Mentor: dr. sc. Siniša Husnjak

Student: Sven Maček

JMBAG: 0135227746

Zagreb, studeni 2018.

ANALIZA PRIMJENE INFORMACIJSKO-KOMUNIKACIJSKIH USLUGA MOBILNE MREŽE PETE GENERACIJE

SAŽETAK

Današnja 4G tehnologija dugoročne evolucije (engl. *Long Term Evolution* - LTE) nametnula se kao nositelj naglog širenja širokopojasnog mobilnog pristupa visokim brzinama prijenosa podataka. Unatoč konstantnom unaprjeđenju navedene tehnologije, zbog kapacitivnih ograničenja i limitiranih mogućnosti postizanja viših performansi, razvija se nova tehnologija koja neće biti samo evolucija širokopojasne mreže, već jedinstvena mreža sa potpuno novim uslužnim mogućnostima. Kako bi se ispunili zahtjevi stavljeni pred 5G mrežu, potrebno je unaprijediti arhitekturu u nekoliko područja. Ta područja uključuju razvoj ćelija visoke gustoće, razvoj mm valova, dodjeljivanje novog prostora frekvencijskog spektra, razvoj samoorganizirajuće mreže i komunikaciju između strojeva (engl. *Machine Type Communication*). Usporedno razvojem 5G infrastrukture razvijaju se i nove informacijsko-komunikacijske usluge koje će omogućiti stvaranje potpuno povezanog svijeta, u kojem su generirani podaci kontekstualizirani, konstruirani i obrađeni preko oblaka uz konstantno stvaranje novih vrijednosti. Cilj ovoga rada je prikazati razvoj 5G arhitekture, objasniti mogućnosti i ograničenja mreže, navesti očekivane informacijsko-komunikacijske usluge te provedbom usporedne analize prikazati trenutno dostupne mreže/usluge u komercijalnoj uporabi.

KLJUČNE RIJEČI: 5G; Arhitektura; Ekosustav; Informacijsko-komunikacijske usluge

SUMMARY

Today's 4G technology of long term evolution (LTE) established itself as the basis of rapid expansion of broadband mobile Internet access. Despite the constant improvements of this technology, its capacitive constraints and limited opportunities achieving higher performance are the main reasons for developing new technology which will not only be the evolution of the broadband network, but unique network with completely new services. In order to meet requirements placed for 5G network, it is necessary to improve architecture in several areas. These areas include hyperdense small-cell deployment, development of mm waves, new frequency spectrum allocation, self-organizing network development and machine type communication. Parallel to the development of 5G infrastructure, new information and communication services will be developed, which will enable the creation of a fully connected world where the generated data are contextualized, constructed and processed through the clouds with the constant creation of new values. The main focus of this paper is to show the development of 5G architecture, explain possibilities and limitations of the network, adduce the expected information and communication services and conduct case study analysis to show currently available networks in commercial use.

KEYWORDS: 5G; Architecture; Ecosystem; Information and communication services

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Razvoj arhitekture 5G mreže.....	3
2.1 Mrežna arhitektura 5G sustava.....	5
2.2 Razvoj manjih ćelija visoke gustoće	7
2.2.1 Mm valovi	8
2.2.2 Dijeljenje frekvencijskog opsega	9
2.3 Samoorganizirajuća mreža	10
2.4 Komunikacija između strojeva.....	11
3. Prikaz ekosustava 5G mobilne mreže	13
3.1 Korisnik u 5G mobilnoj mreži	14
3.2 5G korisnički terminalni uređaj.....	14
3.3 Glavne karakteristike mobilne mreže pete generacije (5G)	15
3.4 Davatelji usluga 5G mobilne mreže	17
3.5 Usluge koje se očekuju u 5G mreži.....	17
3.6 Sadržaj u centru odvijanja komunikacija	19
4. Mogućnosti i ograničenja mobilnih mreža četvrte i pete generacije.....	21
4.1 Tehnički standardi mreža	22
4.2 Usporedba razvoja 4G i 5G mreža	27
4.3 Kapacitivne razlike u mrežama četvrte i pete generacije	27
4.4 Vrijednosni utjecaj 4G i 5G mreže.....	29
4.5 Očekivanja o brzini i kvaliteti mreže	32
4.6 Perspektiva 4G i 5G mobilnih mreža	34
5. Informacijsko-komunikacijske usluge u 5G mreži	35
5.1 Utjecaj opcija implementacije na usluge u 5G mreži.....	36
5.2 Očekivane usluge 5G mobilne mreže.....	38
5.2.1 Aplikacije vezane uz virtualnu i proširenu stvarnost	39
5.2.2 Aplikacije vezane uz transport	41
5.2.3 Aplikacije vezane uz automatizaciju industrije.....	43
5.2.4 Aplikacije vezane uz zdravstvo.....	46

5.2.5 Aplikacije vezane uz pametne gradove	47
5.3 Internet svega	49
5.3.1 Internet ljudi	50
5.3.2 Internet stvari.....	50
6. Usporedna analiza – Case study	51
6.1 Razvoj korisničkih slučajeva i prateće tehnologije	52
6.2 5G za Europu – akcijski plan	54
6.3 Početak komercijalne uporabe 5G mreže	56
7. Zaključak	59
Literatura	61
Popis slika	66
Popis tablica	67
Popis grafikona.....	68
Popis kratica	69

1. Uvod

Zbog stalnog povećanja konkurentnosti 4G tehnologije, potrebom korisnika za sve većim brzinama prijenosa podataka i potrebom za širenjem mreže, već postojeći standardi četvrte generacije potražuju evolucijski put prema 5G tehnologijama koji će korisnicima donijeti puno veće mogućnosti. Razvoj dugoročne evolucije (*Long Term Evolution* - LTE) bio je prvi korak u smjeru tehnologija pete generacije.

Potrebe za bežičnom komunikacijom između 2020. i 2030. godine biti će toliko velike da će biti nužno osmisлити koncept za drastično povećanje kapaciteta prijenosa signala. S obzirom na to da 99,4 % fizičkih objekata koji će jednog dana biti dio koncepta Internet svega (*Internet of Everything* - IoE), trenutno nisu povezani ni u kojem smislu, potražnja će daleko premašiti postojeće kapacitete trenutno najnaprednijih komercijalnih mreža četvrte generacije. Iz tog razloga javlja se potreba za razvojem i prelaskom na novu generaciju mobilnih mreža, koja će se moći nositi s budućom potražnjom korisnika i sustava.

5G mobilna mreža neće biti samo evolucija širokopojasne mreže, već jedinstvena mreža sa potpuno novim uslužnim mogućnostima. Kao prvo, osigurati će korisniku vrlo velike brzine prijenosa podataka u slučaju visoke mobilnosti (npr. vožnja automobilom po autoputu) ili u područjima manje naseljenosti, novim tehnologijama pokrivanja signalom. Kasnije, novim verzijama i nadogradnjama, 5G mreža će biti ključ u povezivanju svih uređaja u jednu cjelinu, zvanu Internet stvari (*Internet of Things* - IoT). 5G mreža pružiti će korisniku niz poboljšanja performansi u smislu povećanja kapaciteta mreže, manjeg vremena čekanja (latencije), više mobilnosti te povećanje pouzdanosti i sigurnosti mreže.

Prateći trend razvoja, mobilna mreža pete generacije pristizе ove godine (2018.). Ali mobilni terminali uređaji koji će imati mogućnost spajanja na 5G mrežu u opticaj dolaze tek od 2019. 5G mreža je jako povezana s boljim doživljajem korisničkog iskustva. U istraživanju provedenog od strane Ericsson ConsumerLab, više od 70 % korisnika identificirali su aspekte izvedbe kao što su povećanje brzine prijenosa podataka, bolja pouzdanost mreže i smanjenje latencije kao njihova primarna očekivanja od 5G mreže. To sugerira da 5G neće biti samo poboljšanje širokopojasne mreže, već i poboljšanje širokopojasne usluge na koje su se potrošači već pretplatili.

Kako bi se omogućio dovoljno širok raspon različitih usluga, kontinuiran i dugoročni razvoj mreže je vrlo bitan. Usporedno s tim možemo primijetiti kontinuiran razvoj aplikacija koje koristimo svakodnevno, a jedna od najvećih promjena je poboljšanje kvalitete online videozapisa. Usluge računalstva u oblaku razvijaju se rapidno, s kontinuiranim poboljšanjima vezane uz količinu pohrane podataka i mogućnosti prikaza istih. Mnoge usluge mogu se pružiti korisnicima preko oblaka kako bi se smanjili troškovi, te omogućili bolju i lakšu povezanost između poslužiteljskih platformi. Mobilne mreže osmišljene su za stvaranje potpuno povezanog svijeta, u kojem su generirani podaci kontekstualizirani, konstruirani i obrađeni preko oblaka uz konstantno stvaranje novih vrijednosti. Povezana vozila, pametna

proizvodnja, globalna logistička praćenja, pametna poljoprivreda, pametno mjerenje i druge su jedne od prvih aplikacija i one koje najviše obećavaju u području IoT koncepta te će biti značajnije objašnjene u radu.

Očekivani slučajevi uporabe 5G mreže su raznoliki i obuhvaćaju sve industrijske grane. Zahtjevi za 5G mrežom dolaze iz raznolikih slučajeva uporabe 5G mreže koja će predstavljati glavnu platformu u pružanju usluga korisnicima. Povezani automobili, pametna proizvodnja, praćenje logistike na globalnoj razini, pametna agrokultura, pametna mjerenja i slična aplikativna rješenja su neka od prvih, najobećavajućih područja, na koja se treba fokusirati IoT. Navedene aplikacije svoj puni potencijal pokazati će za vrijeme 5G ere. Naziv diplomskog rada je: Analiza primjene informacijsko-komunikacijskih usluga mobilne mreže pete generacije te se sastoji od slijedećih 7 cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj arhitekture 5G mreže
3. Prikaz ekosustava 5G mobilne mreže
4. Mogućnosti i ograničenja mobilnih mreža četvrte i pete generacije
5. Informacijsko-komunikacijske usluge u 5G mreži
6. Usporedna analiza – Case study
7. Zaključak

Drugo poglavlje analizira arhitekturu 5G mobilne mreže te govori o novoj upotrebi frekvencijskog spektra, razvoju malih ćelija visoke gustoće i implementaciji same mreže. Biti će opisana arhitektura komunikacije između strojeva (*Machine to Machine* – M2M), značajke M2M komunikacije i zahtjevi uz 5G mrežu.

U trećem poglavlju će biti prikazan ekosustav 5G mobilne komunikacijske mreže, glavne karakteristike i usluge koje možemo očekivati dolaskom nove generacije mobilnih komunikacija.

Četvrto poglavlje prikazuje razlike, te mogućnosti i ograničenja mobilnih mreža četvrte i pete generacije. Opisuje specifikacije mreža po standardima verzija dostupnih u komercijalnoj upotrebi te što nam donosi 5G mreža u tehničkom aspektu. Paralelno s rastom prometa u mreži, očekivanja o kvaliteti usluge i dalje rastu, stoga su prikazana očekivanja o brzini i kvaliteti nadolazeće mreže te perspektiva na telekomunikacijskom tržištu.

U petom poglavlju su prikazane i detaljno opisane usluge koje možemo očekivati dolaskom 5G mreže, aplikacije koje nas očekuju u IoT konceptu te važnost IoT koncepta u Industriji 4.0.

Šesto poglavlje opisuje slučajeve uporabe 5G mreže te razvoj prateće tehnologije usporedno s pojavom novih usluga. Opisani su glavni izazovi za operatore u implementaciji 5G mreže te trenutno stajalište u svijetu i Republici Hrvatskoj u uvođenju 5G sustava.

2. Razvoj arhitekture 5G mreže

Tijekom proteklih desetljeća, mobilne komunikacije su napredovale od isključivo prijenosa glasa, do današnjih „*always on*”¹ komunikacija. Velik napredak je vidljiv i u individualnim komunikacijama. U ranim danima ona se mogla isključivo obavljati od čovjeka do čovjeka, a danas je moguće komunicirati s jednim mobilnim uređajem prema svima, odnosno prema fiksnim ili mobilnim (autonomnim ili upravljanim od strane ovlaštene osobe) komunikacijama, uključujući usluge bazirane u oblaku².

Mobilna mreža pete generacije (5G) neće biti samo evolucija širokopojasne mreže, već jedinstvena mreža sa potpuno novim uslužnim mogućnostima. Kao prvo, osigurati će korisniku vrlo velike brzine prijenosa podataka u slučaju visoke mobilnosti (npr. vožnja automobilom autoputom) ili u područjima manje naseljenosti, novim tehnologijama. Kasnije, novim verzijama i nadogradnjama, 5G mobilna mreža će biti ključ u povezivanju svih uređaja u jednu cjelinu, zvanu Internet stvari (*Internet of Things* - IoT).

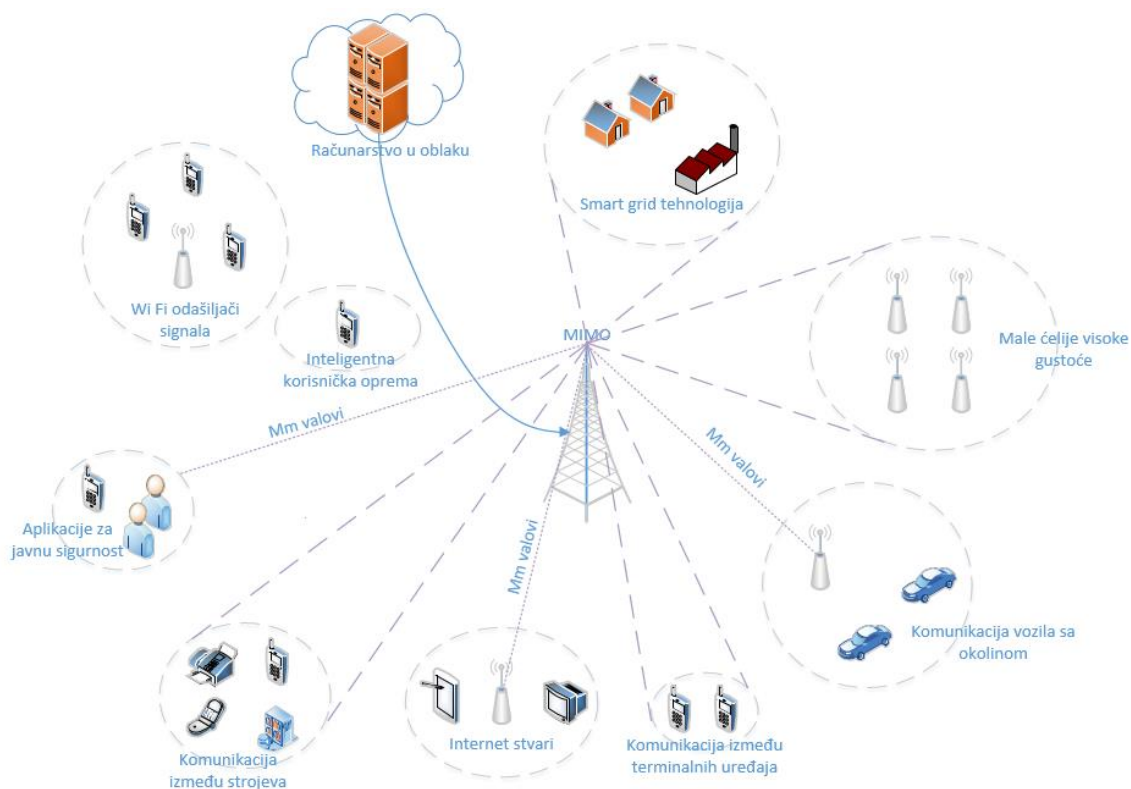
5G mreža pružiti će korisniku niz poboljšanja performansi u smislu povećanja kapaciteta mreže, manjeg vremena čekanja (latencije), više mobilnosti te povećanje pouzdanosti i sigurnosti mreže. Omogućiti će puno veću simultanu povezanost terminalnih uređaja na istu baznu stanicu, produljit će vijek trajanja baterija terminalnih uređaja i pomoći korisnicima u upravljanju vlastitim podacima, [1].

Dizajn mreže osiguravati će veliku fleksibilnost, a sama mreža biti će temeljena na uslužnom pristupu, što znači da će svi podaci i alati biti pohranjeni u oblaku i uvijek biti dostupni korisniku na bilo kojem mjestu. Mreža će se brzo prilagođavati raznim zahtjevima korisnika pružajući mogućnost kontrole bilo kojeg resursa iz područja IT tehnologija.

Mogućnosti 5G mreže, prikazana na slici 1, drastično će se povećati u usporedbi sa prijašnjim generacijama, u cilju postizanja željenih performansi, osobito smanjenja vremena kašnjenja i pouzdanosti te podrški novim poslovnim modelima. Arhitektura će težiti podršci širokom opsegu aplikacija kao što je mobilni Internet visokim brzinama (*multi-Giga-bit-per-second*) pa sve do direktne komunikacije između dva ili više susjedna terminalna uređaja (*Device to Device* – D2D), komunikacije vozila sa okolinom (*Vehicle to X* – V2X) ili komunikacije između vozila (*Vehicle to Vehicle* – V2V) što će uvelike pomoći pri izbjegavanju zagušenja u prometu, nezgoda na cesti i smanjenju ispušnih plinova, [1], [2].

¹ Always on komunikacija predstavlja naziv za način komuniciranja gdje je korisnik mobilnih komunikacija dostupan u bilo koje vrijeme, na bilo kojem mjestu, neovisno o lokaciji.

² Oblak je termin koji se koristi u opisu Interneta, odnosno koncept koji nudi pristup osobnim podacima, aplikacijama ili ostalom sadržaju, a da oni nisu smješteni na osobnom terminalnom uređaju



Slika 1: Mogućnosti 5G mreže

Izvor: [2]

Računarstvo u oblaku (engl. *Cloud computing*) temelji se na pružanju računalnih resursa kao usluge umjesto kao proizvoda. Usluga se krajnjim korisnicima dostavlja preko Interneta, a korisnik plaća uslugu onoliko koliko je koristi. Osnovna ideja ovog servisa je pružanje računalnih sadržaja po potrebi u bilo koje vrijeme na bilo kojem mjestu, uz jedini uvjet, pristup Internetu. Glavna karakteristika ovog servisa je pružanje usluge na zahtjev, što omogućuje veliku elastičnost mreže. Dijeljenje sadržaja pohranjenog u oblaku može se odvijati isključivo iz jednog oblaka ili više oblaka koji su povezani, udruživanjem resursa. Stupanj i vrijeme dostupnosti svakog privatnog sadržaja u oblaku kontrolira korisnik te postavlja sigurnosne postavke kome će taj sadržaj biti vidljiv, a kome ne, [2].

MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*) antenske konfiguracije višestrukog ulaza i višestrukog izlaza su nužne za tehnologiju pete generacije. U svakoj baznoj stanici implementirati će se masivna MIMO (engl. *Massive MIMO technology*) tehnologija, što znači da će svaka bazna stanica sadržavati vrlo velik broj antena u svrhu povećanja brzine prijenosa podataka i kapaciteta mreže. Masivna MIMO tehnologija omogućiti će posluživanje puno većeg broja korisnika istovremeno u istom frekvencijskom opsegu uz znatnu uštedu energije, uporabom jednostavne sheme upravljanja snagom. Smart grid tehnologija je još jedna u nizu zanimljivih aplikativnih rješenja predviđenih za 5G, a temelji se na upotrebi naprednih informacijskih i telekomunikacijskih tehnologija koje omogućuju lakše i učinkovitije upravljanje električnom energijom u smislu uštede, [3].

Predviđa se nadogradnja postojećih pristupnih mreža sa potpuno novom tehnologijom, koja radi u iznimno visokim frekvencijama. Takva tehnologija će omogućiti revoluciju u mobilnoj industriji, ne samo zbog velike širine slobodnog frekvencijskog pojasa, nego i mogućnosti smanjenja veličine antena koje se ugrađuju u terminalne uređaje. Visoke frekvencije su kratkog dometa (oko 1 kilometar), pa se ćelijske konstrukcije moraju postaviti na manjoj udaljenosti kako bi cijelo područje prekrivanja bilo prekriveno signalom. Takav način postavljanja ćelija naziva se razvoj manjih ćelija visoke gustoće (engl. *Hyperdense small-cell deployment*) te smanjuje udaljenost bazne stanice od terminalnog uređaja na minimum, [2].

Manje ćelije, vidljivo u tablici 1, se još dijele na: mikro ćelije, piko ćelije i femto ćelije, poredane po veličini snage raspršivanja signala, od najjače prema najslabijoj. Razvoj tehnologija poput ove, omogućuje mreži pete generacije izvršenje svog cilja k povećanju kapaciteta od 1000 puta u odnosu na prethodnu mrežu. Uobičajene bazne stanice, poput današnjih, dobit će ulogu makro ćelija i biti će zadužene za upravljanje nad manjim ćelijama.

Tablica 1: Razlike u snazi ćelija

Femto ćelije	Piko ćelije	Mikro ćelije	Makro ćelije
Nalaze se u okruženju gdje nema mnogo korisnika (npr. kućno ili poslovno okruženje)	Mogu povećati mrežni kapacitet na mjestima gdje veliki broj korisnika želi pristupiti mreži (npr. kolodvor). Njihov doseg je od 10 do 200m	U mikro ćelijama, antene se nalaze ispod prosječne visine krovova, a njihov doseg je od 100 do 1000 m.	Osiguravaju pokrivanje za korisnike u pokretu tj. one koji se kreću velikom brzinom kao što su recimo oni koji se nalaze u automobilima. Doseg makro ćelija je od 1 do 35 km.

Izvor: [20]

2.1 Mrežna arhitektura 5G sustava

Povećanje brzine zapravo nije najrevolucionarnija karakteristika 5G. Prava se vrijednost nalazi u tehnologijama koja će proizaći iz principa rada virtualizacije mrežnih funkcija (engl. *Network Function Virtualisation* - NFV) i softverski definiranih mreža (engl. *Software Defined Networks* - SDN). Ponekad se 5G termin koristi kako bi se jednom riječju objedinile te tehnologije, ali to nije točno jer te tehnologije omogućuju razvoj trenutnih mreža prema 5G sustavima. NFV i SDN se razvijaju neovisno o 5G sustavima, ali će imati utjecaj na rad sustava.

NFV je koncept mrežne arhitekture koji omogućuje odvajanje softvera od hardvera. Postalo je moguće zbog povećanja performansi komercijalno dostupnih platformi. Omogućuje stvaranje mrežnih funkcija softverski i u oblaku, bez potrebe za ugradnjom novog hardvera. To omogućuje skalabilnost koja podupire dostavljanje usluga na zahtjev. Najznačajnija korist NFV-a je fleksibilnost izvršavanja mrežnih funkcija neovisno o lokaciji pa one nisu više vezane za određenu lokaciju ili čvor, [24], [25].

SDN je produžetak NFV-a kojim se omogućuje softverska dinamička rekonfiguracija topologije mreže i time se mreža može prilagoditi potražnji, odnosno omogućuje se preusmjeravanje dostupnih kapaciteta gdje je potrebno. Korist SDN-a je u njegovoj mogućnosti da fizičku infrastrukturu prikaže apstraktno, a tim se pojednostavljuje upravljanje mrežom.

SDN, NFV i tehnologija oblaka omogućuju razdvajanje mreže od fizičke arhitekture pa mreža postaje programljiva. To omogućuje dijeljenje mreže (engl. *network slicing*) na logičke cjeline zadužene za određene usluge. Dijeljenje mreže označava pružanje različitih softverski definiranih usluga (koje upravljaju geografskom pokrivenošću, trajanjem, kapacitetom, brzinom, kašnjenjem, sigurnošću i dostupnošću mreže) koje se nalaze na jednoj fizičkoj infrastrukturi. Iz toga proizlazi da jedna fizička mreža može pružati više različitih usluga na optimalan način, [25], [26].

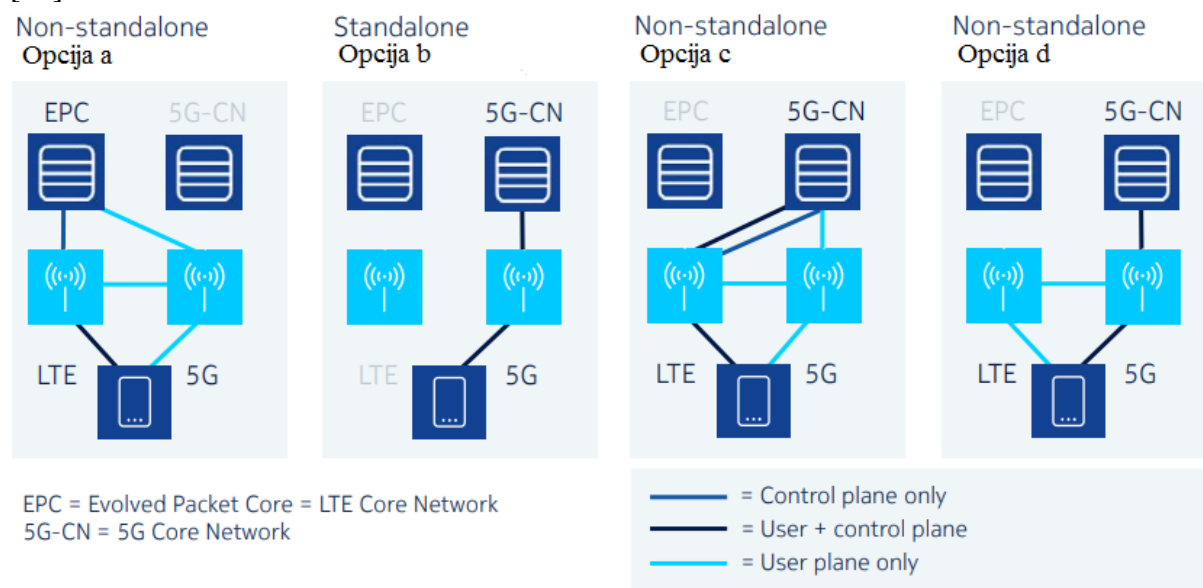
Trenutno operatori nadograđuju i mijenjaju svoje LTE sustave koristeći SDN i NFV jer oni donose mnoge prednosti u odnosu na dosadašnje sustave. Neke od prednosti nadogradnje su smanjenje kapitalnih i operativnih troškova zbog manjeg troška opreme i energije. Buduće nadogradnje sustava bi trebala trajati kraće, predstavljati manji rizik i pružati veću fleksibilnost pri uvođenju ili gašenju servisa u sustavu.

Usporedno s prijašnjim generacijama 3GPP 5G arhitektura sustava je temeljena na uslugama, što znači da gdje god su elementi arhitekture prikladni, definirani su kao mrežne funkcije koje nude usluge putem sučelja zajedničkog okvira (engl. *Interfaces of a common framework*) na sve mrežne funkcije koje imaju dozvolu za pružanje usluga. Funkcije repozitориjskih mreža (engl. *Network Repository Functions* - NRF) dopuštaju svakoj mrežnoj funkciji otkrivanje usluga koje nude druge mrežne funkcije. Navedeni model arhitekture, koji dodatno usvaja načela poput modularnosti, povećane iskoristivosti i samorazumjevanja mrežnih funkcija, odabran je kako bi se omogućila implementacija najnovijih virtualizacijskih i softverskih tehnologija, [40].

Arhitektura temeljena na uslugama, zajedno sa softverskom komponentom i virtualizacijom sustava, pruža agilnost koja omogućuje operatoru brzo rješavanje korisničkih zahtjeva. Nadalje, operator može imati koristi od primjene virtualizacije i upravljanja infrastrukturom tako što razvije i implementira personaliziran mrežni dio za određenu vrstu korisnika prema dobivenim zahtjevima. To omogućuje fleksibilno dodjeljivanje resursa kako se potrebe i prioriteti mijenjaju tijekom vremena.

Druga opcija 5G arhitekture omogućava razvoj samostalnog rješenja 5G sustava bez upotrebe LTE tehnologije. Navedeni pristup naziva se opcija b u 3GPP standardu. Nadalje, 5G se može implementirati nesamostalno, što predstavlja rješenje s dvostrukim povezivanjem na LTE i predstavlja opciju a u 3GPP standardu. Prve 5G mreže biti će primorane koristiti treći pristup implementacije zbog duljeg vremena dostupnosti i bolje razrade koncepta u 3GPP standardu. Dvostruka povezanost ima i druge prednosti poput mogućnosti kombiniranja

LTE i 5G podatkovnih resursa, kao i ponovo korištenje već postojeće evoluirane paketske mreže (engl. *Evolved Packet Core* - EPC). Opcije mrežne arhitekture prikazane su na slici 2, [41].



Slika 2: A, b, c i d opcije mrežne arhitekture 5G sustava, [41]

Samostalna opcija b mrežne arhitekture s 5G jezgrom omogućava nove usluge s kraja na kraj (engl. *end-to-end*), uključujući nisku latenciju i brže vrijeme postavljanja od rješenja za dvojno povezivanje gdje se koriste LTE protokoli. Kasnije verzije 3GPP standarda će donijeti i mogućnosti povezivanja LTE baznih stanica na 5G jezgrenom mrežu s opcijama c i d 3GPP standarda, [41].

3GPP standardizira niz različitih 5G rješenja temeljenih na tome da li se pristup na 5G mrežu odvija samostalno (engl. *5G Standalone*) ili se paralelno kombinira s LTE pristupnom mrežom (engl. *Non-Standalone*) pomoću tehnologije višestrukog pristupa – dvojna povezanost (engl. *Multi-Radio Access Technology – Dual Connectivity*). Samostalna opcija 5G mrežne arhitekture ima prednost mogućnosti jednostavne implementacije mreže, slično načinu kako je 4G LTE mreža bila implementirana preko 3G mreža. S druge strane, nesamostalna opcija 5G mrežne arhitekture može koristiti postojeća LTE rješenja i ubrzati proces implementacije 5G sustava, [51].

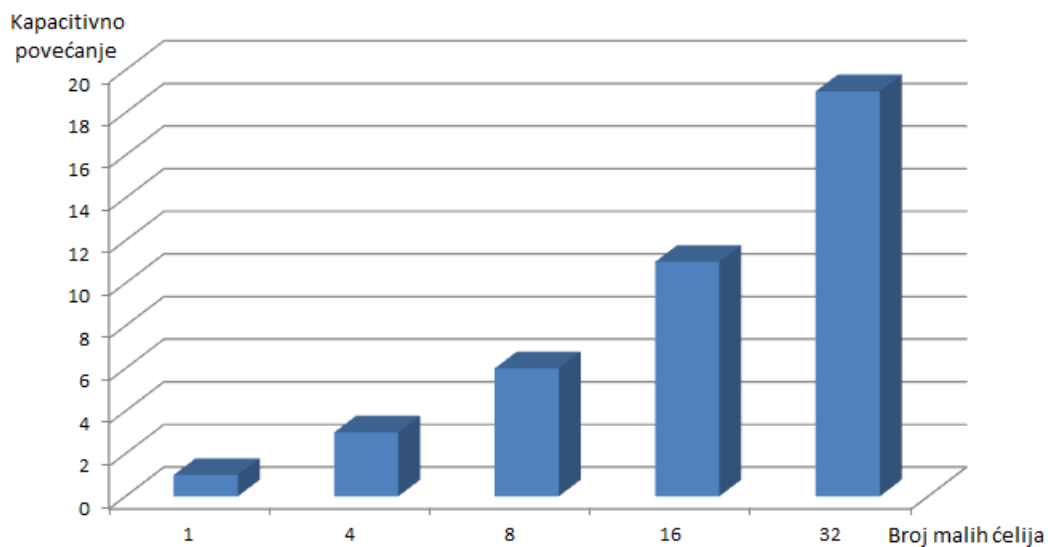
2.2 Razvoj manjih ćelija visoke gustoće

Razvoj manjih ćelija visoke gustoće je obećavajuće rješenje u cilju postizanja povećanja kapaciteta 5G mreže. Ovo inovativno rješenje može značajno utjecati na povećanje spektralne efikasnosti u području djelovanja ćelija. Postoje dva načina postavljanja manjih ćelija visoke gustoće, a to su prema, [2]:

- Preklapanjem postojećih ćelijskih sistema manjim ćelijama visoke gustoće i iste tehnologije kao što su mikro, piko i femto ćelije

- Preklapanjem manjim ćelijama visoke gustoće različitim tehnologijama u odnosu na jedan ćelijski sustav (npr. tehnologija brzog paketskog pristupa (*High Speed Packet Access* - HSPA), LTE, LTE-A i dr.)

Qualcomm, trenutno vodeća kompanija u dostizanju cilja povećanja kapaciteta mreže od 1000 puta u odnosu na prethodnu mrežu, predstavila je i demonstrirala kako dodavanje manjih ćelija visoke gustoće može gotovo linearno povećati kapacitet mreže, odnosno da se kapacitet udvostručuje svaki puta kada udvostručimo broj malih ćelija, vidljivo na grafikonu 1.



Grafikon 1: Rast kapaciteta mreže usporedno sa dodavanjem malih ćelija

Izvor: [2]

Smatra se da su male ćelije u arhitekturi 5G mobilne mreže glavni element za daljnji razvoj. Dizajn i osobine ćelije su obećavajuće za bolju pokrivenost područja i brzinu prijenosa informacija, [20].

2.2.1 Mm valovi

Frekvencijski spektar je glavni čimbenik u razvoju mobilnih usluga. Uspjeh mreže pete generacije (5G) temeljit će se na uporabi slobodnog frekvencijskog spektra viših frekvencija u kombinaciji sa danas korištenim frekvencijskim spektrom. Dodjeljivanje novog frekvencijskog spektra, koji će zadovoljiti sve potrebe nove mreže je krucijalan čin u nastajanju 5G tehnologija. To je moguće jedino proširenjem pojasne širine u iznad visoke frekvencije koje se nazivaju milimetar valovi (engl. *mm Waves*). Ćelije koje će raditi na iznad visokim frekvencijama su mikro, piko i femto ćelije, a sve će biti upravljane makro ćelijom.

Mm valovi mogu biti podijeljeni u dvije različite kategorije, prema, [4]:

- Mm valovi u frekvencijskom opsegu od 20 do 40 GHz namijenjeni mikro ćelijama
- Mm valovi na frekvenciji od 60 GHz namijenjeni piko i femto ćelijama

Sa porastom broja mobilnih uređaja, porastao je i broj korištenog frekvencijskog spektra. Ta činjenica vodi do dva važna faktora: zahtijevanje frekvencijskog spektra i zagušenje frekvencijskog spektra, koji će biti krucijalni u nadolazećim mobilnim mrežama. Istovremeno, želja korisnika za većim brzinama prijenosa podataka i korištenje sve većeg frekvencijskog opsega, učiniti će u budućnosti nestanak slobodnog frekvencijskog opsega, [4].

2.2.2 Dijeljenje frekvencijskog opsega

Zahtjevi korisnika za multimedijским sadržajem i raspolaganjem informacijama, servisima kao što su e-učenje, e-zdravlje i sl. čini svakodnevno povećanje terminalnih uređaja u mreži. Svi terminalni uređaji zahtijevaju korištenje određenog frekvencijskog opsega kako bi prijenos podataka bio moguć pa se teži što učinkovitijem korištenju. U tehnologije nove generacije implementirati će se sustavi za učinkovitije korištenje spektra. Kao primjer takvog predstavljen je sustav „vidno polje“ (*Line of Sight – LOS*). Radi na frekvencijama do 100 GHz, te smanjuje veličinu komponenti u terminalnom uređaju koristeći više frekvencijskih opsega, spajajući ih u jedan. Takvim načinom spajanja frekvencijskih opsega postiže se veća učinkovitost upotrebe spektra.

Dijeljenje frekvencijskog opsega načinjeno je od tri dimenzije: frekvencije, vremena i lokacije te može biti korišteno od strane više korisnika istovremeno. Neki od primjera dijeljenja frekvencijskog opsega su ponovna upotreba frekvencija u FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), a kasnije u TDMA (*Time Division Multiple Access*) sustavima. Metode za dijeljenje frekvencijskog opsega možemo podijeliti u 3 kategorije, bazirane po prioritetima pristupanju u radijski spektar, prema, [4]:

- Horizontalno dijeljenje frekvencijskog opsega: svi terminalni uređaji imaju jednaka prava pri pristupu spektru
- Vertikalno dijeljenje frekvencijskog opsega: primarni korisnici dodjeljuju prioritete pristupa spektru
- Hijerarhijsko dijeljenje frekvencijskog opsega: napredna opcija vertikalnog dijeljena spektra

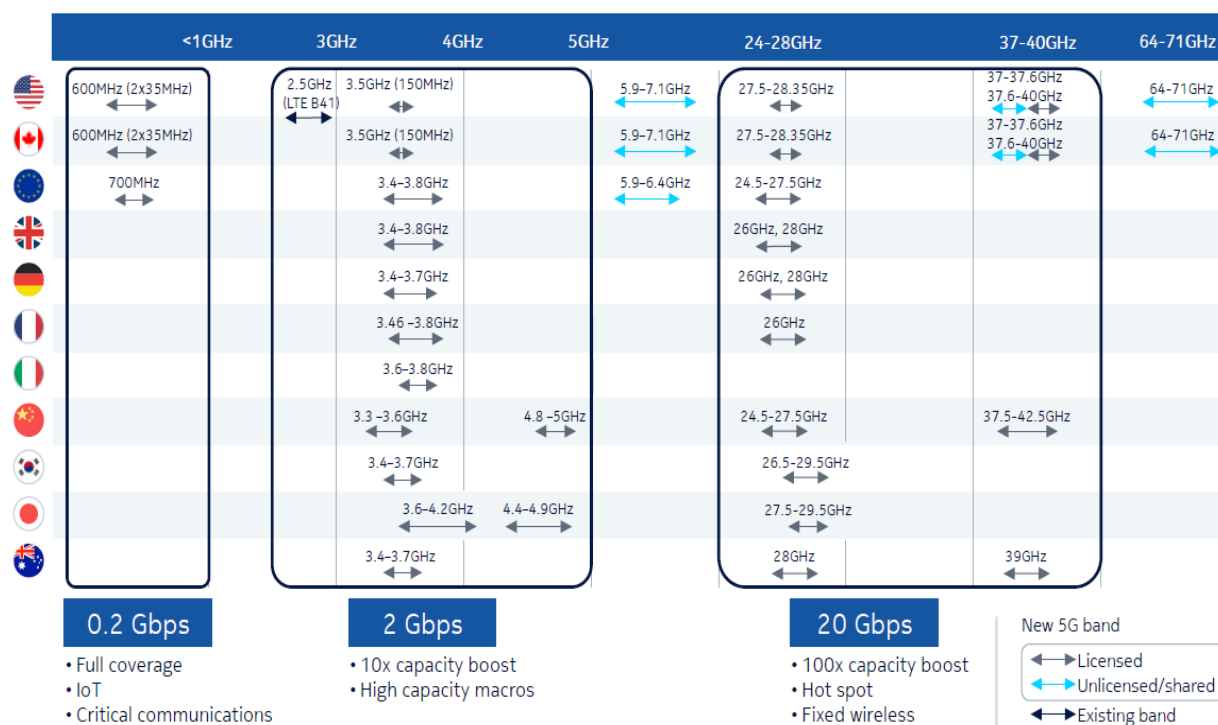
U trećem mjesecu 2018. godine postignut je dogovor o nizu ključnih mjera predviđenih Europskim kodeksom elektroničkih komunikacija, uključujući:

- Raspoloživost radio spektra za 5G do 2020. godine u EU
- 20 godina predvidljivosti investicija za licencije za frekvencijski spektar
- Pojačana koordinacija i stručna ocjena planiranih postupaka dodjele radiofrekvencijskog spektra

Privremeni sporazum postavlja temelje za implementaciju 5G mreža diljem EU, uzimajući u obzir prethodne sporazume o naknadama za radio spektre, uklanjanju prekograničnih interferencija i lakšem pronalaženju malih stanica.

Prema najnovijem Ericsson Mobility Report-u, [32] prvi pretplatnici u Zapadnoj Europi očekuju se 2019. godine, a do kraja 2023. godine predviđa se da će 5G imati udio od 21 % u broju aktivnih mobilnih korisnika. Očekuje se da će 2023. godine 5G usluge biti dostupne u svim regijama što prethodi uvođenjem novog frekvencijskog spektra od 3,5 GHz. Krajem lipnja 2018. godine Alcom i Ericsson proveli su 5G terenska ispitivanja na frekvenciji od 3,5 GHz s ciljem mjerenja radijskih kapaciteta u ruralnim, urbanim i morskim okolinama. Rezultati testiranja pomoći će operatorima u dizajnu 5G mreže kao i u planiranju novih proizvoda i usluga, [32].

U Europi države koje testiraju 5G mobilnu mrežu koriste niže i više frekvencijske opsege. Niži frekvencijski opsezi su oni u granicama od 3400 do 3800 MHz, dok više frekvencije čini opseg od 24,25 do 27,5 GHz. U SAD-u niži frekvencijski opseg je u granicama od 3100 do 3550 MHz i 3700 do 4200 MHz, te viši od 27,5 do 28,35 GHz, te 37 do 40 GHz. Na slici 3 prikazana je globalna mapa korištenih frekvencijskih opsega u svrhu testiranja 5G mobilne mreže, [33].



Slika 3: Globalni prikaz 5G frekvencijskih opsega, [41]

2.3 Samoorganizirajuća mreža

Samoorganizirajuća mreža (engl. *Self-Organising Network* – SON) je još jedna ključna komponenta 5G mobilne mreže. Kako će rasti broj malih ćelija visoke gustoće, ova mreža će imati sve veću ulogu. U prosjeku, oko 80 % bežičnog prometa odvija se unutar zatvorenog prostora zgrada ili kuća, a kako bi prijenos velike količine podataka bio moguć, potrebne su nam male ćelije visokih gustoća u takvim objektima. Postavljanje ćelija i održavanje biti će isključivo od strane korisnika mobilne mreže, ne uključujući davatelja

usluge. Kako bi se korisniku olakšalo postavljanje i korištenje takvog sustava, mreža mora biti samoorganizirajuća, što znači rad na principu „uključi i radi“ (engl. *plug and play*)³.

Nadalje, samoorganizirajuća mreža je ujedno i pametna mreža, pa će tako nakon uključivanja znati odrediti prikladan frekvencijski spektar u odnosu na susjedne mreže kako bi interferenciju signala svela na minimum. Kao primjer, manja ćelija se samostalno sinkronizira sa mobilnom mrežom, izvrši provjeru susjednih mreža te postavlja svoj frekvencijski spektar.

Samoorganizirajuća mreža će odlučivati kada koristiti frekvencije iz iznimno visokog spektra, a kada koristiti niže frekvencije, ovisno o potrebi brzine prijenosa podataka, što dovodi do uštede električne energije i baterije terminalnih uređaja spojenih na takvu mrežu, [22].

2.4 Komunikacija između strojeva

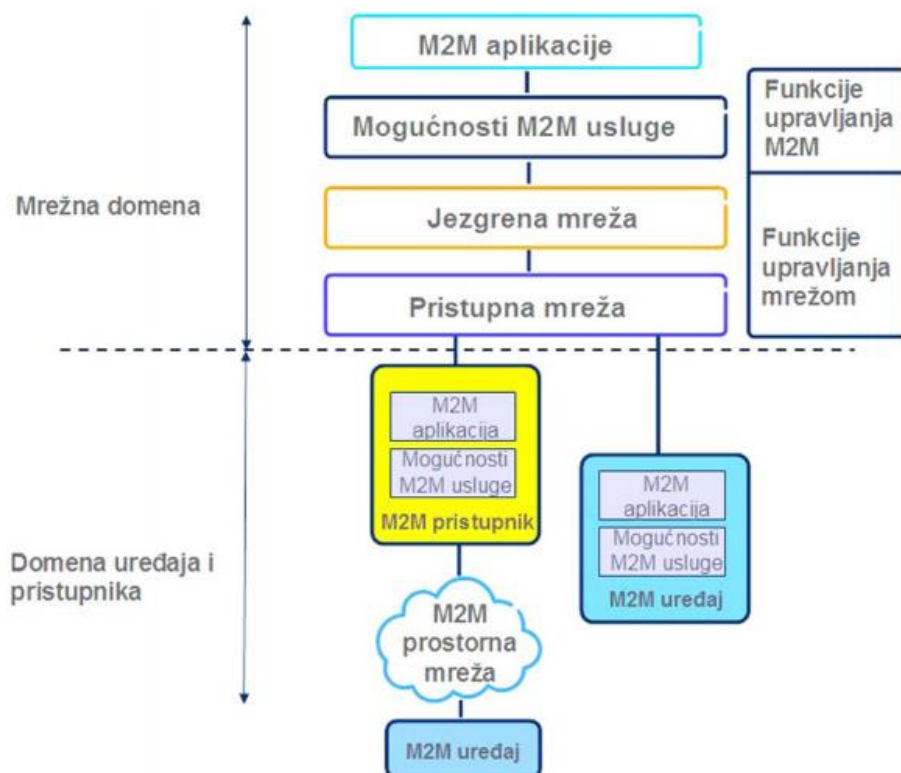
Broj umreženih strojeva stalno raste, mijenjajući percepciju uobičajene komunikacije prema mrežama koje su neovisne o ljudskoj interakciji. Komunikacija između strojeva (engl. *Machine to Machine* – M2M) je nastala kao nova komunikacijska paradigma koja omogućava da strojevi međusobno komuniciraju bez ljudske intervencije. M2M komunikacije su potaknule veliku raznovrsnost aplikacija uključujući prometna mjerenja, udaljeno praćenje zdravstvenog stanja, upravljanje vozilima i praćenje vozila, udaljeni nadzor i druge aplikacije. Ovo zahtjeva razvoj novih rješenja za učinkovito posluživanje velikog broja uređaja, što će omogućiti 5G mreža. Komunikacija između strojeva omogućiti će usluge vezane uz javnu sigurnost kao što su rješenja koja adresiraju potrebe poput transporta, komunalnih službi i zdravstva, [23].

M2M aplikacije primjenjive su u mnogo segmenata industrije i mogu biti prilično različite. Tipične aplikacijske domene su automatizacija u industriji, transport i logistika, upravljanje sredstvima, komunalne službe i zdravstvo. Dodatno se, zbog naglog porasta broja potrošačke elektronike s ugrađenom mogućnošću povezivanja i uslugama, može i potrošačka elektronika smatrati kao aplikacijska domena. Primjeri potrošačke elektronike su električni čitači knjiga (*e-reader*), izvođači mp3 datoteka i digitalni foto okviri imaju praktično iste karakteristike kao i tradicionalni uređaji za M2M komunikaciju iako svojim izgledom slične pametnim telefonima. Zbog takvih karakteristika, potrošačka elektronika je svrstana u novu kategoriju umreženih uređaja. Prema procjenama istraživačkih kuća, broj umreženih uređaja potrošačke elektronike bi trebao doseći brojku od 4 milijarde do 2020. Godine, [23].

Veliki tržišni potencijal komunikacijskih sustava umreženih strojeva javlja se kao posljedica brojnih primjena i slučajeva uporabe, ali i dostupnosti različitih pristupnih

³ Osobina sustava da automatski prepozna novi uređaj umetnut ili spojen na terminalni uređaj te odmah započinje sa radom programa ili aplikacije

tehnologija koje se mogu iskoristiti u njihovoj implementaciji. Takvi sustavi moraju biti pouzdani, skalabilni, sigurni i upravljivi.



Slika 4: Arhitektura M2M komunikacija, [14]

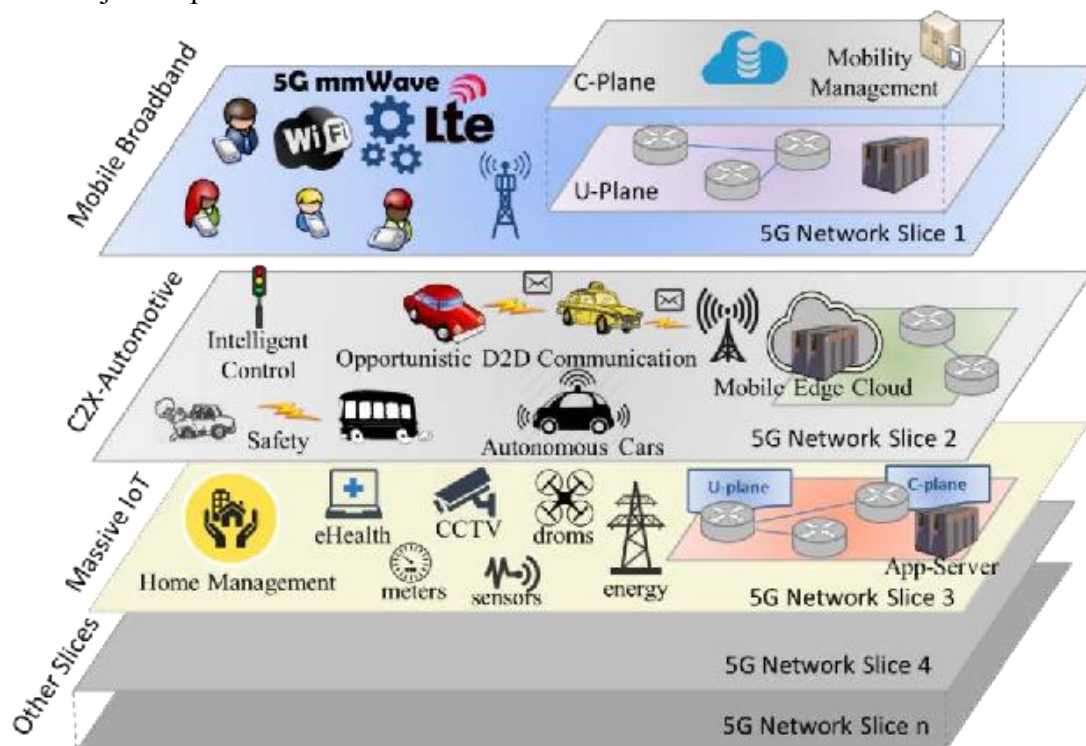
Najjednostavniji način za postizanje toga je prilagodba korištene prijenosne tehnologije (npr. javne pokretne mreže) specifičnim zahtjevima M2M komunikacije (velik broj umreženih uređaja, različiti tipovi uređaja, niska potrošnja energije itd.). To se postiže standardizacijom, u okviru koje se velika pažnja posvećuje razmatranju arhitekture mreže za M2M komunikacije, prikazane na slici 4, [23].

3. Prikaz ekosustava 5G mobilne mreže

Ekosustav informacijsko-komunikacijske tehnologije čini samoorganizirajući sustav tržišta, mreža, usluga, aplikacija i sadržaja, kao i vladajućih, pravnih i regulatornih tijela. Razvija se i prilagođava stvarajući nove zahtjeve za privatne subjekte, poslovne subjekte i vladajuća tijela. U ekosustavu sudjeluje velik broj sudionika i njihovih različitih uloga. Važnost ekosustava leži u tome da čini temelj za uspješan poslovni razvoj, [5].

Ključna značajka arhitekture 5G sustava je slaganje mreže. Prethodna generacija omogućila je određene aspekte ove funkcionalnosti za namjenske jezgrene mreže, ali u usporedbi s novim, 5G mrežno slaganje (engl. *Network slicing*) je puno snažniji koncept koji uključuje kompletnu javnu zemaljsku mobilnu mrežu (engl. *Public Land Mobile Network* - PLMN). Unutar opsega arhitekture 3GPP 5G sustava, mrežni odsječak odnosi se na skup 3GPP definiranih značajki i funkcija koje zajedno tvore kompletnu PLMN mrežu za pružanje usluga terminalnim uređajima. Mrežno slaganje omogućava kontrolirani sastav PLMN mreže iz specificiranih mrežnih funkcija sa svojim specifičnostima i pruženim uslugama koje su potrebne za određeni slučaj uporabe, [40].

Mrežno slaganje omogućava operatoru implementaciju višestrukih, nezavisnih PLMN mreža, gdje je svaka prilagođena prema različitim zahtjevima korisnika, pružajući tako mogućnosti i usluge korisnicima prema njihovim potrebama. Na slici 5 je prikazan primjer PLMN mreže razdijeljen na više mrežnih složaja. Svaki mrežni dio prikazuje što je potrebno za oblikovanje kompletne PLMN mreže.



Slika 5: Prikaz 5G mrežnog slaganja, [43]

Ericsson i Swisscom na Mobile World Congress (MWC) sajmu u Barceloni demonstrirali su slaganje mreže za mobilnu mrežu pete generacije te pokazali funkcionalnost takvog načina rada u svakodnevnicima. Posebno se to odnosi na poboljšanje performansi aplikacija namijenjenih industrijama kao što su proizvodnja i prijevoz. Poanta slaganja mreže jest u tome da svaka aplikacija ili usluga može neometano koristiti svoj dio mreže bez da pritom narušava rad drugoj aplikaciji ili mreži. Na taj se način radi na protočnosti, stabilnosti i osigurava se neometana brzina prijenosa podataka. Za te potrebe teleoperateri Ericsson i Swisscom osigurali su bazne stanice i tehnologiju kao RAN (engl. *Radio Access Network*), kontrolu kvalitete usluge i OSS (engl. *Operations Support Systems*), [44].

Mrežna odjeljenja prikazuju kako se mreža može razlikovati prema predviđenim funkcijama sustava, mogućnostima i zahtjevima za tražene usluge. Kao primjer, drugi mrežni složaj, vezan uz komunikaciju između vozila i vozila i okoline bi mogao omogućiti funkciju uštede baterije za terminalne uređaje u mreži jer se podrazumijeva da navedeni mrežni dio ima vrlo nisku latenciju što je važno za kvalitetnu komunikaciju između vozila, [40].

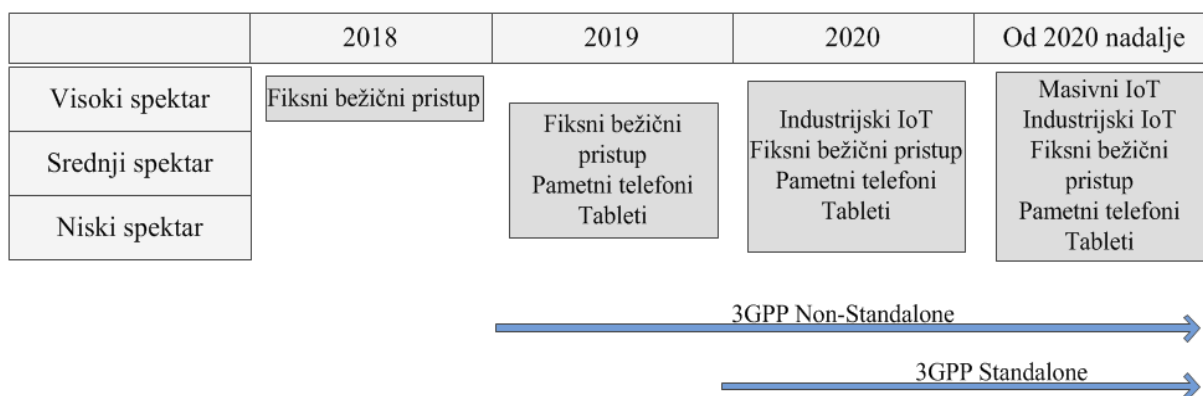
3.1 Korisnik u 5G mobilnoj mreži

Mobilna mreža pete generacije imati će vrlo važnu ulogu u životima korisnika omogućujući neograničen pristup informacijama i prijenos podataka vrlo velikim brzinama, bilo gdje u bilo koje vrijeme. 5G je koncept mreže gdje personalizacija susreće povezanost i novu tehnologiju i sve povezuje u jednu cjelinu, što rezultira tehnologiji poput MTC (engl. *Machine Type Communication*) komunikaciji, efikasnijom uporabom frekvencijskog spektra, povećanju sigurnosti i privatnosti mreže, računarstvu u oblaku, smanjenju potrošnje energije i ostalim mogućnostima.

Analitičari tvrtke CSS Insight predstavili su istraživanje koje se tiče budućnosti nove tehnologije 5G mobilnih mreža. Predviđa se da će do 2023. godine u svijetu biti više od jedne milijarde korisnika, što predstavlja brži rast rasprostranjenosti nego kod mreža četvrte generacije. Nakon što 2023. godine dosegne brojku od preko milijarde korisnika, rasprostranjenost mreže će rapidno rasti, pa se tako do 2025. godine očekuje preko 2.5 milijardi korisnika, [6].

3.2 5G korisnički terminalni uređaj

Prvi, javno dostupni, 5G terminalni uređaji očekuju se od 2019. godine. Do navedene godine očekuje se kako će IoT koncept primarno biti pogonjen globalnom dostupnošću uređaja i niskim cijenama istih. Cijena 3GPP (engl. *The 3rd Generation Partnership Project*) kompatibilnih uređaja su se značajno smanjili u posljednje vrijeme, te kako im se cijena približava iznosu od pet do deset eura, možemo primijetiti povećanje IoT industrije zasnivane na mrežno orijentiranim proizvodima.



Slika 6: Dostupnost 5G uređaja
Izvor: [9]

Slika 6 prikazuje približno vrijeme dostupnosti 5G uređaja. Kao primjer, dani su FWA (engl. *Fixed Wireless Access*) uređaji koji su razvijeni kako bi zadovoljili potrebe za većim brzinama prijenosa podataka u SAD-u i Australiji te se prvi takvi uređaji u komercijalnoj upotrebi očekuju od 2019. godine. Kako se 5G mreža bude razvijala kroz godine, tako će se pojaviti i veći broj terminalnih uređaja dostupnih korisnicima, [9].

3.3 Glavne karakteristike mobilne mreže pete generacije (5G)

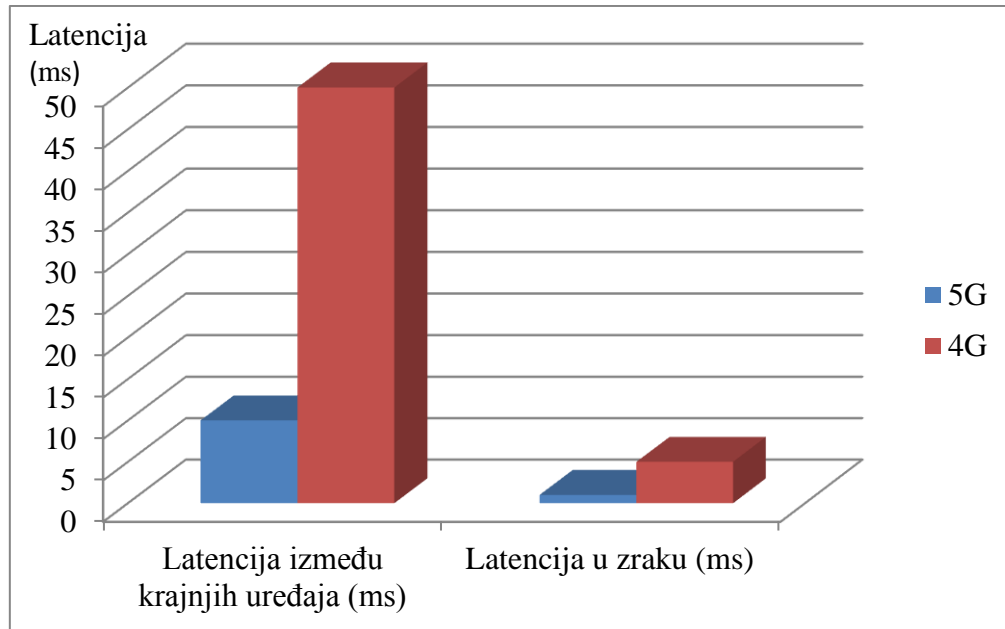
Svakom novom generacijom mobilnih mreža, brzina prijenosa podataka se minimalno udvostručuje s obzirom na prethodnu generaciju. Pa tako glavni zahtjevi koji se stavljaju pred 5G mrežu su povećanje brzine prijenosa podataka, povećanje kapaciteta mreže, smanjenje vremena kašnjenja (latencije) i ušteda energije. Ugradnja novih usluga i aplikacija jednako je bitna kao i povećanje brzine prijenosa podataka ili smanjenja latencije, ali i obrnuto, jer što su aplikacije zahtjevnije, potrebna je i veća brzina prijenosa podataka.

Glavna očekivanja od pete generacije mobilnih komunikacija, prema [7], mogu se sažeti u sljedeća poboljšanja ili nove funkcionalnosti:

- Prosječna brzina prijenosa podataka u pokretu oko 1 Gbit/s
- Veća učinkovitost upotrebe radijskog spektra
- Poboljšana komunikacijska sigurnost, posebno zbog primjene pametnog radija
- Manje dimenzije i puno duže trajanje baterije, odnosno veća energetska učinkovitost
- Bolja rubna radijska pokrivenost i veća brzina prijenosa podataka reda 10 Gbit/s po ćeliji
- Ukupno vrijeme kašnjenja (latencija) od 1 ms
- Mogućnost raspodjele podataka prilikom slanja i primanja kroz dva različita komunikacijska kanala, odnosno dvije različite pristupne mreže
- Za povećanje kapaciteta mreže primjenjivat će se MIMO tehnologija prostornog multipleksiranja radio signala pomoću većeg broja prijemnih i odašiljačkih antena
- Bežični Internet koji će omogućiti širokopojasnu komunikaciju i masovnu primjenu multimedijiskog sadržaja
- Pouzdanost usluge od 99.999 %

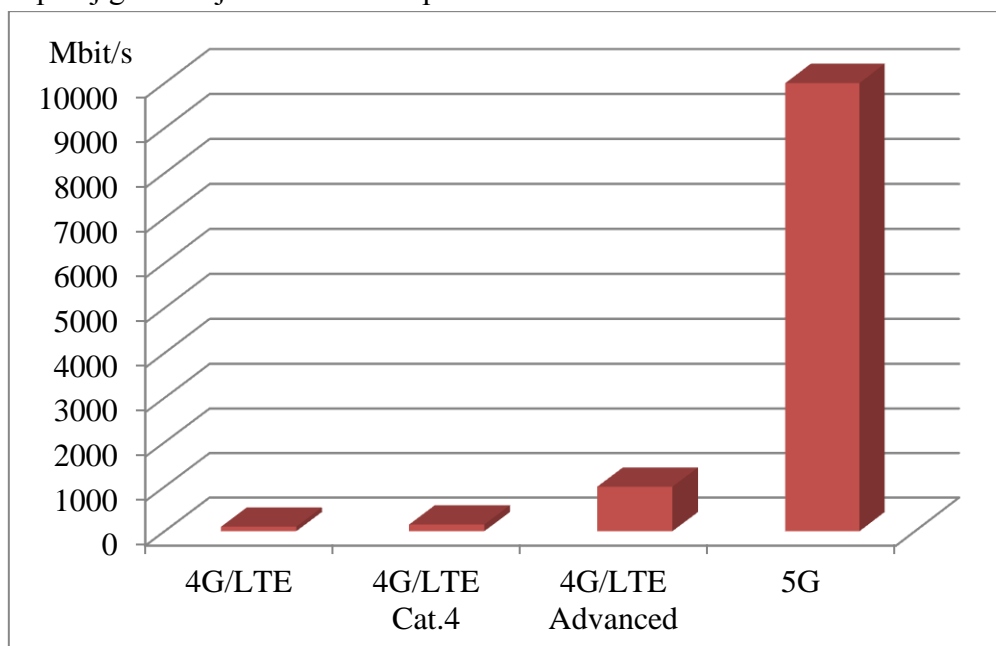
- Sposobnost posluživanja 1 bilijuna IoT terminalnih uređaja
- Podrška mobilnosti do 500 km/h za promet odvijan na tlu

Grafikon 2 prikazuje odnos latencije između četvrte i pete generacije mobilnih mreža. Prikazana je latencija u zraku koja za 4G iznosi 10 ms, a za petu generaciju 1 ms i latencija između krajnjih uređaja, koja za 4G iznosi 50 ms, a za 5G maksimalnih 5 ms, [7].



Grafikon 2: Razina latencije između 4G i 5G mreža
Izvor: [7]

Na grafikonu 3 prikazane su brzine prijenosa podataka mobilnih mreža te je vidljivo da će se u petoj generaciji ona drastično povećati na čak 10 Gbit/s.



Grafikon 3: Usporedba brzina prijenosa podataka između 5G i ostalih mreža
Izvor: [8]

Kako bi se ispunili zahtjevi stavljeni pred 5G mrežu, potrebno je unaprijediti arhitekturu u nekoliko područja. Ta područja uključuju razvoj ćelija visoke gustoće, razvoj mm valova, dijeljenje frekvencijskog opsega, razvoj samoorganizirajuće mreže i komunikaciju između strojeva (engl. *Machine Type Communication*), [7].

3.4 Davatelji usluga 5G mobilne mreže

Početak komercijalnog razvoja 5G sustava očekuje se od 2020. godine pa nadalje, sljedeći faze istraživanja i razvoja (engl. *Research and Development – R&D*), standardizacije i fazu regulacije. U Europi, očekuje se nešto kasnija implementacija 5G sustava zbog nedostataka frekvencijskog opsega, pa se predviđa početak komercijalne upotrebe između 2020. i 2025. godine, [1].

Industrija će odigrati važnu ulogu u infrastrukturi 5G mreže sa neophodnim dugoročnim ulaganjem u standardizaciju na globalnoj razini i integracijom tehnologija u kompleksne interoperabilne⁴ sustave. Rezultati 5G PPP (engl. *Private Partnership Project*) infrastrukturnog projekta biti će prikladni za globalnu standardizaciju u sučeljima poput 3GPP (engl. *Third-Generation Partnership Project*), IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*), IETF (engl. *Internet Engineering Task Force*) i ostale standarde u IT domeni.

Standardizaciju 5G sustava predvodi kompanija Ericsson pod koordinacijom već spomenutog projekta Europske unije METIS-II. METIS-II je projekt posvećen razvoju cjelovitog dizajna 5G sustava te izradi plana uvođenja standardizacije. METIS-II će na strateškoj razini osigurati okvir za suradnju u području 5G na način javno privatnog partnerstva u 5G infrastrukturi (5G PPP) zajedničkom procjenom koncepta 5G radio pristupne mreže i preporukom za uvođenje 5G spektra. Ovo će rezultirati i pripremom zajedničkih aktivnosti prema regulatornim i standardizacijskim tijelima.

Uz navedeno, Ericsson će biti tehnički koordinator mmMAGIC projekta koji ima za cilj razvoj i dizajniranje novih koncepta mobilne radiopristupne tehnologije u frekvencijskom spektru od 6 do 100 GHz, [10].

3.5 Usluge koje se očekuju u 5G mreži

Intenzivna digitalizacija raznih gospodarskih grana predstavlja prvi korak prema uslugama 5G mreže, a taj će se proces u sve većoj mjeri nastaviti i u bliskoj budućnosti kako 5G mreža bude širom svijeta prihvaćena za novi globalni standard povezivosti. Ključ digitalizacije leži u načinima na kojima će različite industrije koristiti 5G za transformaciju poslovanja. Tako će razni poslovni sustavi koristiti dijelove mreže usklađene sa specifičnim zahtjevima svake industrije. 5G radio pristup, jezgrene mreže i upravljanje kompleksnim IT

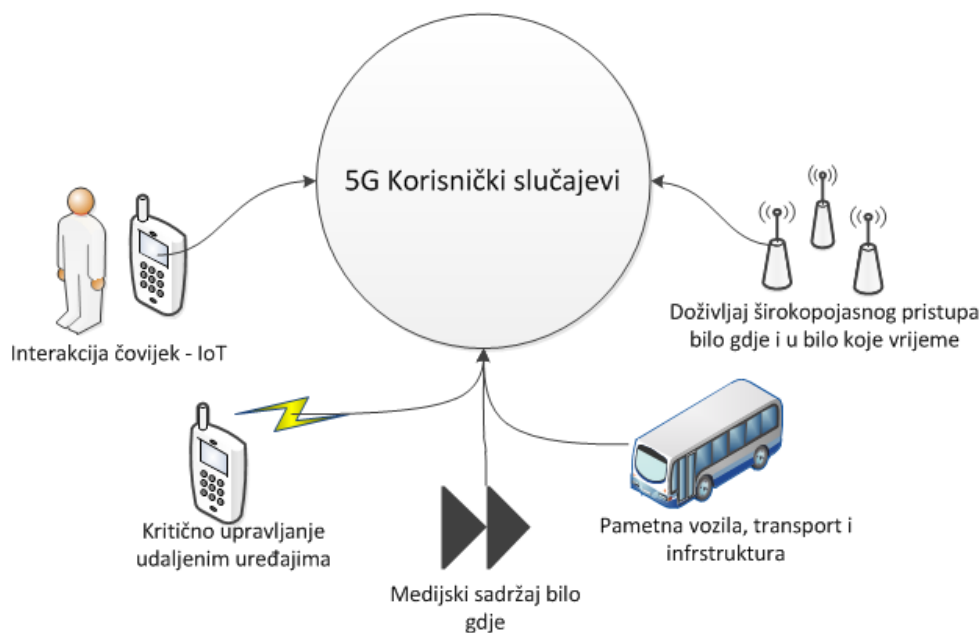
⁴ Interoperabilnost je sposobnost sustava ili proizvoda, čija su sučelja potpuno poznata, da međusobno djeluju i funkcioniraju s drugim proizvodima i sustavima, bez ikakvih ograničenja pristupa i implementacije

sustavima poduprijet će raznovrsne slučajeve korištenja ove tehnologije te nam omogućiti korištenje njenog punog potencijala.

Od širokopojasne povezanosti u područjima s velikim brojem ljudi do udaljene automatizacije rada kritičnih strojeva u opasnim radnim okruženjima, poput rudnika, 5G već ima korisničke slučajeve koji mogu pomoći u poslovanju te su spremni za buduće potrebe. Među glavnim prednostima 5G tehnologije su sigurnost mreže i niska potrošnja energije što će poslovnim sustavima omogućiti efikasnu i troškovno učinkovitu digitalizaciju, [11].

Usluge koje očekujemo u 5G mobilnoj mreži, prikazane na slici 7, prema, [11], su:

- Interakcija između čovjeka i Internet stvari (engl. *Internet of Things* – IoT)
- Doživljaj širokopojasnog pristupa bilo gdje i u bilo koje vrijeme
- Kritično upravljanje udaljenim uređajima
- Pametna vozila, transport i infrastruktura
- Medijski sadržaji bilo gdje



Slika 7: 5G usluge
Izvor: [11]

Interakcija između čovjeka i Internet stvari će povezivati korisnika 5G mreže sa stvarima poput računala, strojeva, raznih senzora i ostalih uređaja koji će biti spojeni na Internet. Usluga će biti namijenjena svim osobama u želji povećanja javne sigurnosti, zdravstvene skrbi i korištenja u svakodnevnom životu.

Doživljaj širokopojasnog pristupa bilo gdje i u bilo koje vrijeme omogućiti će pristup mobilnom Internetu pete generacije u napuštenim područjima, javnom prijevozu i u slučaju velikog skupa ljudi na malom prostoru bez zagušenja. Omogućavati će visoku kvalitetu usluge u otvorenim i zatvorenim prostorima, kao i u zahtjevnim mrežnim uvjetima. Usluga će biti dostupna svim korisnicima mreže.

Kritično upravljanje udaljenim uređajima će omogućiti korisniku usluge daljinskog upravljanja teškim strojevima, praćenja rada tvornica/procesa u realnom vremenu i slične usluge namijenjene sektoru proizvodnje, zdravstvene skrbi i radu u rudniku. Ova usluga povećava učinkovitost i smanjuje troškove te komunikacijske sabirnice zamjenjuje bežičnim linkovima.

Pametna vozila, transport i infrastruktura je usluga namijenjena autoindustriji u svrhu povezivanja i komunikacije između svih prijevoznih sredstava u cilju smanjenja zagušenja prometa, uštede energije i povećanja sigurnosti u prometu. Usluga će koristiti senzore postavljene u cestama, željezničkim prugama i pistama koji će komunicirati međusobno s vozilima. Takav način komunikacije naziva se MTC (engl. *Machine Type Communication*).

Medijski sadržaj bilo gdje je Cloud bazirana usluga koja će omogućavati korisniku pristup medijskom sadržaju na bilo kojem mjestu u bilo koje vrijeme uz pristup Internet vezi. Usluga omogućava transformaciju industrije na „all IP“ (engl. *Internet Protocol*) te pruža korisniku vrhunsku video kvalitetu (4K, 8K, HDR (engl. *High Dynamic Range*), HFR (engl. *High Frame Rate*)) [11].

3.6 Sadržaj u centru odvijanja komunikacija

Percepcija mobilnih uređaja u potpunosti se promijenila. U nastajanju mobilnih mreža, težilo se da korisnik bude u centru odvijanja komunikacija te nam može ponuditi mnogo usluga vezanih uz naš terminalni uređaj. Glavni izazov svih mobilnih operatora u stvaranju mobilne mreže pete generacije (5G) upravo će biti postavljanje sadržaja potrebnog korisnicima u oblak. Takav način komunikacije bi korisnicima dao potpuno nove mogućnosti u korištenju mobilne mreže, [1].

Industrijska organizacija GBA (engl. *Global Billing Association*) razlikuje najmanje tri vrste sadržaja, [21]:

- Streaming
- Transakcije
- Interaktivni sadržaji

Tablica 2 prikazuje karakteristike i opis vrsta sadržaja prema industrijskoj organizaciji.

Tablica 2: Vrste sadržaja

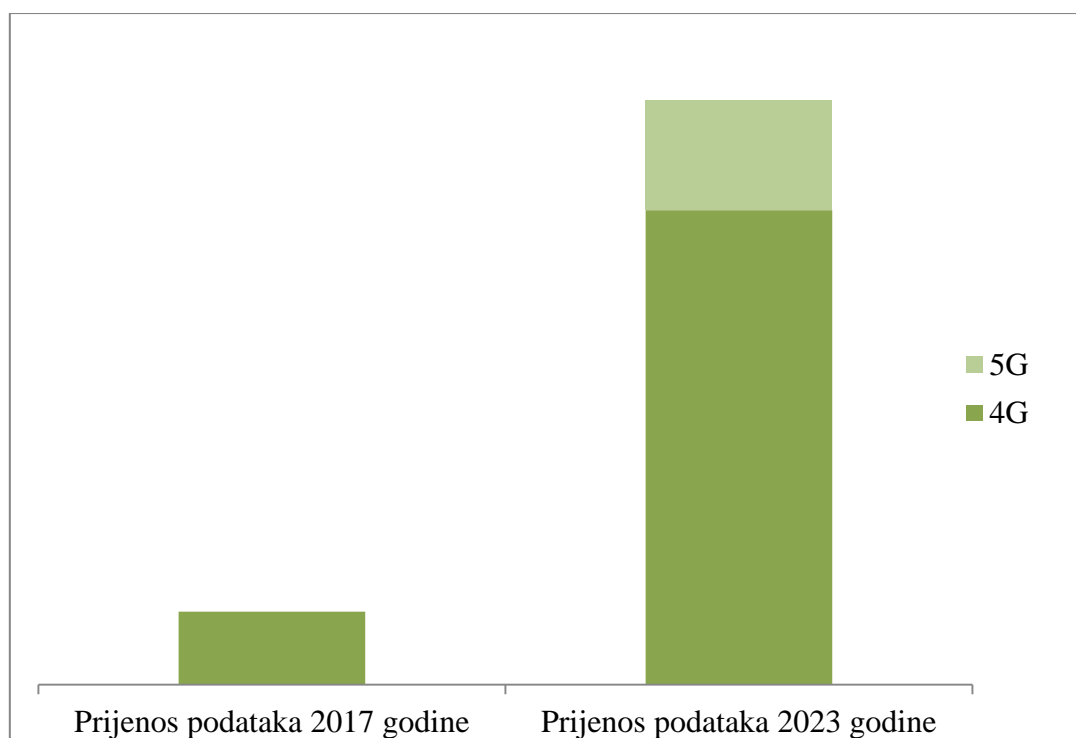
Sadržaj	Opis	Karakteristike naplate
Streaming	Skidanje cijelog sadržaja s mreže ili prenošenje "u živo" (npr. uporaba real playera). Primjeri ovakvog sadržaja su glazba, video, melodije poziva, crtani filmovi, aplikacije,...	Cijena može biti postavljena za cjelokupan sadržaj (npr. mp3 datoteke) ili njegove manje dijelove (npr. 10 minuta prijenosa). Vrijednosti mogu biti relativno niske po dijelovima ili velike za cjelokupan sadržaj. U ovom slučaju je jako bitna i kvaliteta same usluge (QoS) čija cijena ulazi u sveukupnu vrijednost.
Transakcije	Kupovina elektroničkih ili fizičkih dobara (m-/etrgovina). Primjeri su kupovina kino karata, knjiga, CD-a ili burzovnih dionica.	Vrijednost leži u kupovini elektroničkih ili fizičkih dobara. Cijena samog pristupa je manje više nebitna.
Interakcija	Push/pull usluge. Primjeri su igre, traženje informacija, usluge lociranja korisnika, reklame vezane uz profil/karakteristike korisnika.	Ove usluge uključuju velik broj mogućnosti naplate kao npr. uporaba određivanja lokacije korisnika kao jednog od parametara. Oglašivači plaćaju za svoje reklame, dok korisnik može čak biti plaćen kroz nagradne bodove ili popuste za gledanje reklama.

Izvor: [21]

Kako bi se omogućio dovoljno širok raspon različitih usluga, kontinuiran i dugoročni razvoj mreže je vrlo bitan. Usporedno s tim možemo primijetiti kontinuiran razvoj aplikacija koje koristimo svakodnevno, a jedna od najvećih promjena je poboljšanje kvalitete online videozapisa. U cilju povećanja kvalitete sadržaja, 5G mreža pružiti će korisniku niz poboljšanja performansi u smislu povećanja kapaciteta mreže, veće brzine prijenosa podataka, manjeg vremena čekanja (latencije), više mobilnosti te povećanje pouzdanosti i sigurnosti mreže.

4. Mogućnosti i ograničenja mobilnih mreža četvrte i pete generacije

Količina prijenosa podataka mobilnom mrežom rapidno raste. Na globalnoj razini, mobilni podatkovni promet zadnjih 5 godina ima tendenciju rasta od 65 % svake godine. Analizom trenutnog stanja mreže u 2018. godini, prema [16], predviđa se daljnje povećanje podatkovnog prometa u mobilnim mrežama po godišnjem rastu od 40 % do 2023. godine, vidljivo na grafikonu 4, što u prosjeku znači osam puta veći podatkovni promet po pojedinom web mjestu. Kako bi se prilagodile navedenom rastu podatkovnog prometa, mobilne mreže se moraju proširiti i dodatno razviti. U kratkom vremenskom periodu, velik dio porasta prometa nastati će generiranjem iz 4G terminalnih uređaja, zahtijevajući tako od mobilnih mreža četvrte generacije prilagodbu na povećanje i omogućavanje prijenosa veće količine podataka.



Grafikon 4: Globalno predviđanje rasta prometa do 2023. Godine

Izvor: [12]

Međutim, kako se terminalni uređaji s podrškom za 5G pojavljuju na tržištu, u skladu s tim će se povećavati i generiranje 5G podatkovnog prometa. Uz značajno povećanje mrežnog prometa, 5G uređaji će omogućiti ekonomičnu mrežnu funkcionalnost kako bi pomogli operatorima u upravljanju navedenim povećanjem prometa. Potrebe za pružanjem dobrog korisničkog doživljaja konstantno raste. Kao primjer, očekuje se prijenos videa u 2K i 4K⁵ rezoluciji, što iziskuje potrebe za većom brzinom prijenosa podataka i većom kvalitetom mreže, a to će nam omogućiti 5G mreža, [12].

⁵ 2K i 4K rezolucija odnosi se na jasnoću slike i teksta prikazanom na ekranu. 2K rezolucija predstavlja širinu od 2080 piksela, dok 4K predstavlja horizontalnu rezoluciju od 4096 piksela.

4.1 Tehnički standardi mreža

Prateći trend razvoja, mobilna mreža pete generacije pristiže ove godine. Ali mobilni terminali uređaji koji će imati mogućnost spajanja na 5G mrežu u opticaj dolaze tek od 2019. godine. Kako kompanija AT&T pokušava zavarati korisnike ponudom „5G Evolution“ plana, tako je postalo veoma teško znati što točno očekivati i kako će izgledati nova generacija bežičnih mreža.

Problem s obje mreže, 5G i Gigabit LTE, je taj da razne tvrtke i davatelji komunikacijskih usluga, koriste termine za opisivanje različitih stvari. Već su istražene neke od razlika između 5G Non-Standalone i nadolazećeg 5G Standalone standarda i što to znači za proizvode i korisničke slučajeve, a jednostavno rečeno, 5G nije još samo jedno uobičajeno proširenje širokopojasne mreže. Nadalje, Gigabit LTE mreža konstruirana je korištenjem novog visokog i / ili niskog spektra frekvencija, nelicenciranog spektra i sjedinjavanje s LTE i Wi-Fi signalom. Spomenuta mreža, također se zvala LTE-Advanced, LTE Advanced Pro i „pre-5G“, ali faktor koji ih ujedinjuje je brzina prijenosa podataka koja se omogućuje korisnicima od 1 Gbit/s, [13].

Velik je broj mogućnosti postizanja veće brzine bežičnog prijenosa podataka, što je jedan od razloga nastalom pitanju, da li su trenutno pokrenute 5G mreže uistinu 5G. U ovom djelu rada referenca se odnosi na pojedine detalje 3GPP standarda kako bismo objasnili što zahtjeva određena tehnologija za rad i što sve pruža određenom korisniku. Prva specifikacija koja omogućuje brzine iznad 1 Gbit/s dolazi sa verzijom 13 (engl. *Release 13*), dok prva 5G NSA (engl. *5G Non-Standalone*) specifikacija dolazi sa verzijom 15 (engl. *Release 15*), [13].

Prvi slučaj uporabe stavljen pred 5G mrežu je povećanje brzine prijenosa podataka i povećanje kapaciteta za mobilne širokopojasne aplikacije. 5G omogućuje vrlo visoku brzinu prijenosa podataka putem MIMO višeantenskih sustava. Na slici 8 je prikazano povećanje brzine prijenosa podataka usporedno s povećanjem frekvencijskog opsega i dodavanjem broja antena na prijamnoj i odašiljačkoj strani, [41].

Spektar	Širina kanala	MIMO	Brzina prijenosa
24-28 GHz	1 GHz	2x2 / 4x4	10 / 20 Gbps
3.3-4.9 GHz	100 MHz	4x4	2 Gbps
<1 GHz	20 MHz	2x2	0.2 Gbps

Slika 8: Povećanje brzine prijenosa podataka usporedno s povećanjem frekvencijskog opsega
Izvor: [41]

Kao što je vidljivo u tablici 3, u svakoj novoj verziji je vidljivo postepeno poboljšanje uvođenjem dodatnih značajki i hardverske podrške, kako bi se postigle veće brzine prijenosa podataka. Nekoliko je glavnih tema koje idu „ruku pod ruku“ s ciljem povećanja prijenosa podataka: povećanje broja nosilaca signala koji mogu biti spojeni u cjelinu, veće MIMO antenske konfiguracije i podrška za širi spektar tehnika razmjene frekvencijskog opsega. Prebacivanjem na 5G Non-Standalone (*New Radio*) specifikaciju, teži se povećanju brzine prijenosa podataka dodavanjem više frekvencijskog opsega i nosilaca signala do 6 Ghz-nog spektra i višim frekvencijama mmValova (engl. *mmWave*), [13].

Tablica 3: Poboljšanja uvedena novim verzijama mreža

	5G New Radio (Release 15)	LTE-Advanced Pro (Release 13 & 14)	LTE-Advanced (Release 10 to 12)
Brzina prijenosa korisničkih podataka	> 10 Gbit/s	> 3 Gbit/s	> 1 Gbit/s
Vrijeme čekanja (latencija)	>1ms	>2ms	~10 ms
Frekvencijska podrška	Do 40 Ghz	Do 6 Ghz	Do 6 Ghz
Propusnost kanala	Do 500 Mhz	Do 20 Mhz	Do 20 Mhz
Najveći broj nosilaca signala	16 (LTE + NR)	32	5
Maksimalna širina opsega kanala	1000 Mhz	640 Mhz	100 Mhz
Broj MIMO antena	64 do 256	32	8
Dijeljenje frekvencijskog spektra	mmValovi i NR dupla povezanost NR bazirana LAA + NR MulteFire LTE-U	LAA / eLAA LWA MulteFire CBRS / LSA LTE-U	LTE-U (Rel. 12)

Izvor: [13]

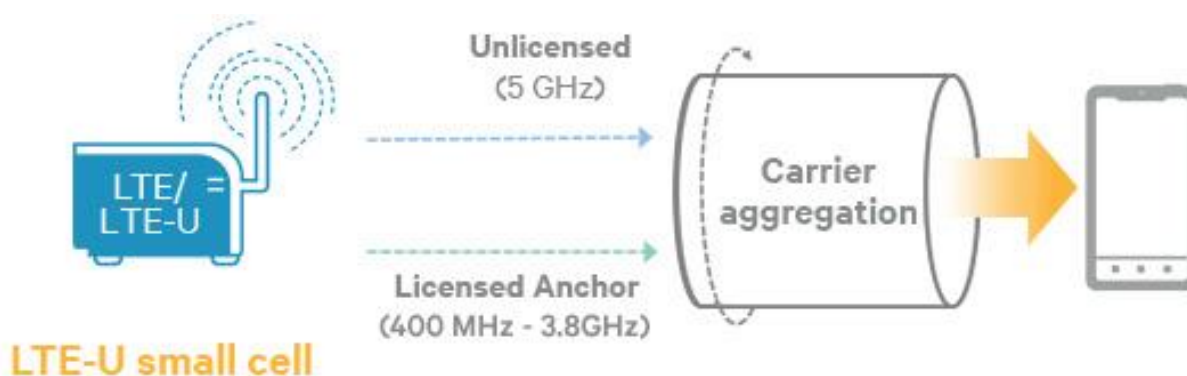
U smislu brzine prijenosa podataka, uvođenjem LTE-Advanced Pro i 5G New Radio, biti će probijena barijera od 1 Gbit/s. Međutim, u ovoj fazi je vrijedno spomenuti da će vršne stope brzine prijenosa korisničkih podataka biti znatno niže od navedenih teorijskih maksimuma. 5G i Gigabit LTE imaju za cilj povećati brzinu prijenosa podataka povećanjem raspona raspoloživih frekvencija i brojem nosilaca signala koji prenose podatke. To je zato što

će stvarne brzine ovisiti o vrsti spektra koji je dostupan u vašem trenutnom području, kao što su mmWave antena ili LAA čvor (engl. *License Assisted Access hub*) male ćelije, te tehnološka podrška sadržana u korisnikovom mobilnom terminalnom uređaju. Imajući 5G mobilni terminalni uređaj neće jamčiti veće brzine prijenosa podataka od Gigabit LTE brzina prijenosa.

Ključ u povećanju brzine prijenosa podatka leži u sakupljanju nosioca signala (engl. *Carrier aggregation*), koje povećavaju propusnost uzimanjem podataka iz spektra gdje se nalazi više podnosioca signala. Relativno jednostavan način za povećanje prijenosa podataka svakog korisnika mreže 4.5 generacije je proširenje pojasne širine koja iznosi 20 MHz. Kao primjer, kombinacijom konfiguracija širine spektra LTE2600 (Širina prijenosnog kanal 2600 MHz) i LTE1800 (Širina prijenosnog kanala 1800 MHz) u jednu pojasnu širinu koja bi tada, teoretski, iznosila 40 MHz u silaznoj vezi. Takvo spajanje pojasnih širina naziva se sakupljanje nosioca signala. Trenutno, ovakva konfiguracija mreže u Europi nije moguća zbog relativno malog frekvencijskog opsega koji je ponuđen mrežnim operatorima na tržištu, [14].

Gigabit LTE je mobilna mreža 4.5 generacije kojoj je cilj približiti svijetu skori dolazak mreža pete generacije, svojim impresivnim performansama. MIMO tehnologija korištena u naprednom LTE standardu, u kombinaciji sa sakupljanjem nosioca signala bio je prvi korak k stvaranju ove mobilne mreže. Prva ovakva mreža pokrenuta je u Južnoj Koreji sredinom 2015. godine.

Gigabit LTE omogućuje korisniku prijenos podataka do 1.17 Gbit/s u silaznoj vezi što ovu mrežu, trenutno, čini najbržom na svijetu. Za postizanje ovako visokih brzina prijenosa, zaslužno je sakupljanje nosioca signala iz tri različita frekvencijska područja LTE mreže u kombinaciji sa frekvencijskim područjem Wi-Fi (engl. *Wireless-Fidelity*) sustava vidljivo na slici 9. Takvo korištenje frekvencijskog spektra i vrlo velika pojasna širina daju prosječnu brzinu prijenosa podataka od 600 do 700 Mbit/s, [15].

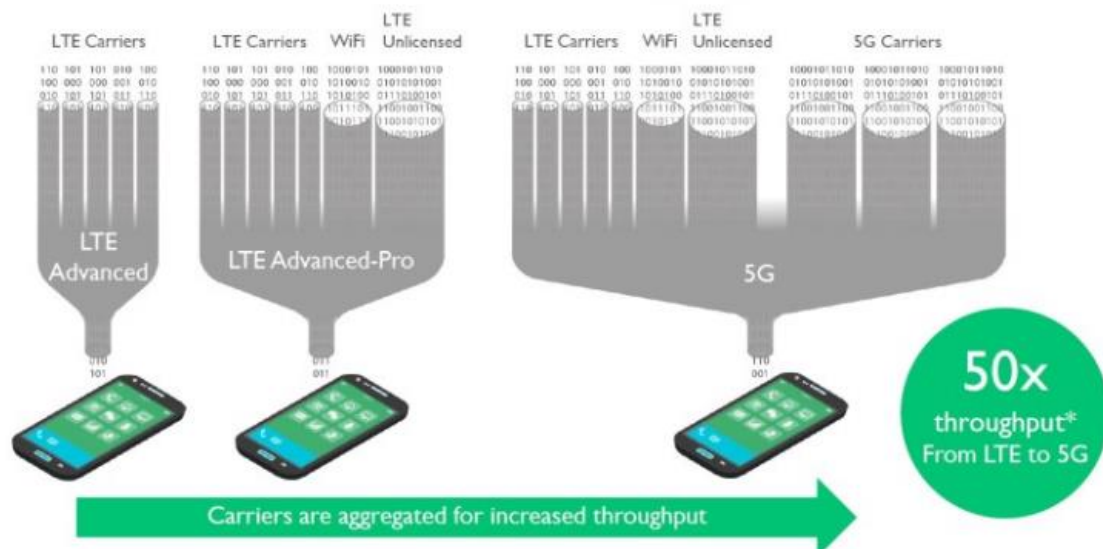


Slika 9: Gigabit LTE, [15]

LTE – U (engl. *LTE – Unlicensed*) predstavlja nelicencirani LTE standard koji je kombiniran sa frekvencijskim područjem od 5 GHz na kojem radi Wi-Fi tehnologija. Do 2020. godine očekujemo porast podatkovnog prometa do 1000 puta, razvoj novih tehnologija kao što je 8k video (video od 8000 piksela) i pojavu holograma. Takve tehnologije nose vrlo

velike količine podataka te zahtijevaju još veću brzinu podatkovnog prometa stoga nam je potrebna nova generacija mobilnih mreža kao bi mogla odgovoriti na dane zahtjeve, [15].

Slijedi LTE-Advanced Pro u kojem se dodatno povećava broj prijenosnih opsega i počinje podržavati širok spektar nelicenciranih opsega. Nelicencirani spektar uključuje miješanje signala s Wi-Fi frekvencijskim opsegom na 2.4 ili 5 Ghz, te ostale implementacije malih ćelija oko sličnih frekvencija do 6 Ghz. Na slici 10 prikazano je sakupljanje nosioca signala u svrhu povećanja propusnosti mreže.



Slika 10: Prikupljanje nosioca signala od LTE verzije 8 do 5G mreže, [13]

Tehnologija višestrukog ulaza i višestrukog izlaza (engl. *Multiple-input and multiple-output* - MIMO) je također vrlo bitna u postizanju visokih brzina prijenosa podataka. Ideja je slična sakupljanju nosioca signala, strujanje podataka odvija se paralelno, na više antena za svaki prijenosni opseg. Osim što se koristi za povećanje propusnosti, isti se podaci mogu slati i preko ovih paralelnih antena za provjeru grešaka i sprečavanje gubitaka paketa. Kada je u pitanju 5G radio pomoću tehnologije mmWave, masivni MIMO postaje još važniji. Razlog tome je što visokofrekventna tehnologija mmWave ovisi o vidnom polju (engl. *Line Of Sight* – LOS), pa je tako MIMO tehnologija neophodna kako bi se osiguralo da poruke dođu na određište neometano, [13].

Mobilna mreža Gigabit LTE radi tako da koristi 5 ili više LTE prijenosnih opsega koji se sakupljaju zajedno kako bi pružili višu brzinu prijenosa podataka. Takav način prijenosa može se ostvariti zbog širokog izbora prijenosnog opsega, uključujući dugodometni prijenosni opseg do 1 Ghz, poput T-Mobileovog 600 Mhz-nog opsega. U izgrađenim područjima poput onih unutar gradova, može se pronaći tradicionalni LTE prijenosni opsezi prošireni dodatnim makro ćelijama koje djeluju u nelicenciranom spektru kako bi dodatno povećali broj dostupnih prijenosnih opsega za sakupljanje signala i pružanje veće propusnosti prema korisniku.

Sakupljanje signala iz više nosilaca također ima svoje prednosti u povećanju brzine prijenosa podataka na krajnjem djelu ćelijske mreže, jer se višestruko slabiji signali mogu kombinirati zajedno u svrhu većeg protoka podataka. Naravno, kako bi se postigle spomenute

brzine prijenosa podataka, potreban je pametni terminalni uređaj, ne samo s kompatibilnim modemom, već i s pristupnim djelom koji je napravljen tako da odabere najbolji odgovarajući frekvencijski opseg za terminalni uređaj.

Dizajn pametnog terminalnog uređaja i oblik mogu ostati više-manje identični kod Gigabit LTE mreže, dok će 5G pametni terminalni uređaji zahtijevati neke značajne promjene u inženjerskom djelu. Kako nova generacija mreža zahtjeva i novu generaciju terminalnih uređaja, kao podrška sakupljanju nosioca signala i novim MIMO konfiguracijama, definirane su 3 nove kategorije uređaja prema, [14]:

- 6 kategorija – prikuplja nosioce signala iz dva frekvencijska područja širine 20 MHz sa 2×2 MIMO antenskom konfiguracijom u silaznoj vezi.
- 7 kategorija – uređaj u silaznoj vezi ima potpuno iste karakteristike kao u 6 kategoriji uz poboljšanja na uzlaznoj vezi tako da podržava frekvencijsko područje širine 20 MHz sa 2×2 MIMO antenskom konfiguracijom
- 8 kategorija – uređaj u silaznoj vezi prikuplja nosioce signala iz dva frekvencijska područja širine 20 MHz sa 8×8 MIMO antenskom konfiguracijom i 4×4 u uzlaznoj vezi

Prve 5G mreže će zadržati prepoznatljiv LTE koncept mreže, povećavajući ono što je već ostvarivo Gigabit LTE mobilnom mrežom sa novom mmWave visokofrekventnom tehnologijom, posvetivši se pronalasku novih frekvencijskih opsega koji će biti u upotrebi u budućnosti. Drugim riječima, prve 5G mobilne mreže jednostavno će dugotrajnu ideju agregacije (sakupljanja) signala provesti na sljedeću razinu pronalaskom novih frekvencijskih opsega za potrebe prijenosa mobilnih podataka. Prijelaz na nove mmWave i visokofrekventne opsege je potez koji čini razliku između 5G i Gigabit LTE mobilne mreže, ali prebacivanje na tehnologiju nove generacije nije jednostavan korak, [13].

Signali visokih frekvencija lako se gube. Blokiraju ih zidovi, pa čak i vlastita ruka može biti nepremostiva prepreka. Tako da i držanjem vlastitog pametnog terminalnog uređaja u ruci može biti dovoljno da spriječi dolazak visokofrekventnog signala do antene istog uređaja. 5G antene trebaju redizajn kako bi radile s visokim frekvencijama. Pristupni dio radiofrekvencija također mora biti prilagođen davatelju signala u zadanim frekvencijskim opsezima, što zahtjeva redizajniranje proizvoda na nižim razinama. To je jedan od većih problema s kojim se susreće izbacivanje 5G mmWave odašiljača s mogućnosti formiranja snopa u pogon na tržište. Mobilnu mrežu Gigabit LTE lakše je implementirati u proizvode pošto je bazirana na već postojećim, često korištenim radijskim tehnologijama. 5G mmWave predstavlja nove izazove u dizajniranju arhitekture mreže.

Osim mobilnog širokopojasnog pristupa Internetu, Gigabit LTE i 5G New Radio također uključuju niz novih komunikacijskih tehnologija za nove slučajeve upotrebe. LTE Direct, LTE emitiranje i C-V2X dizajnirani su tako da omogućuju komunikaciju između 2 ili više uređaja međusobno, bez potrebe za povezanosti sa većom mrežom. Također je omogućena i podrška za IoT koristeći eMTC (engl. *Massive machine-Type Communication*) i Narrow Band IoT tehnologije korisne za sve, od pametnih domova do dronova. Gigabit LTE je mnogo lakši za implementaciju jer je dizajn antenske konfiguracije vrlo sličan onome koji se trenutno koristi, a napajanje električnom energijom ostaje uglavnom nepromjenjivo, [13].

4.2 Usporedba razvoja 4G i 5G mreža

Kako podatkovni promet raste, kapacitet mreža se mora kontinuirano nadograđivati. Kada dostupni kapacitet 4G mreže više nije adekvatan za posluživanje dovoljnog broja korisnika, mreža se mora proširiti na način da se postave nove bazne stanice, makro ćelije ili male ćelije, radi povećanja gustoće prekrivanja signalom. Upravo navedeno je jedan od razloga uvođenja 5G mreža, gdje 5G spektar i kapacitet mogu ponuditi alternativni put posluživanja korisnika. Dajući alternativan način proširenja kapaciteta, skupa rješenja poput povećanja gustoće prekrivanja signala mogu se izbjeći, [12].

Odluka o ulaganju u 5G mrežu, prema, [12], u velikoj mjeri se bazira na usporedbi sljedećih parametara:

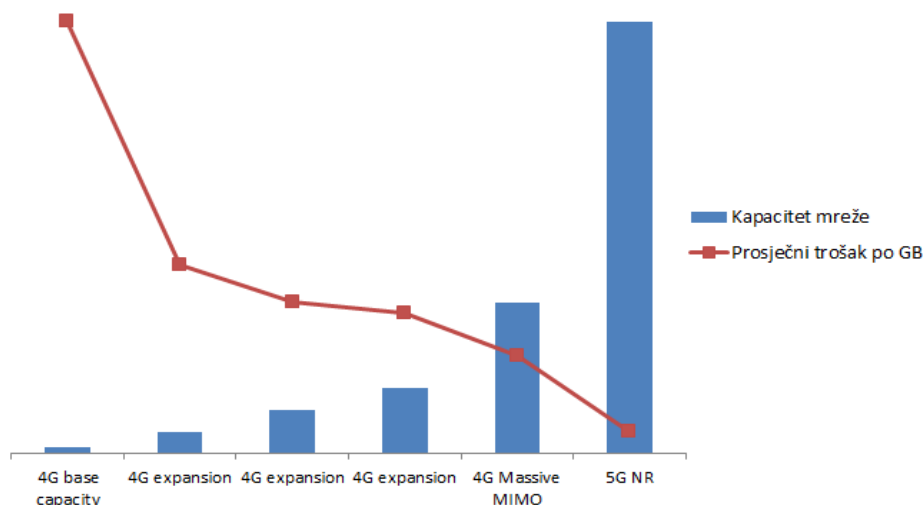
- Trošak izgradnje novih mjesta opremljenim isključivo 4G tehnologijom
- Alternativni trošak razvoja 5G radio opreme u novom spektralnom pojasu

Tržišne prednosti implementacije 5G mreže, prema, [12], možemo podijeliti na:

- Tržišne učinke:
 - Smanjivanje gubitaka pretplatnika
 - Veći udio na tržištu
 - Veći prosječni prihod po korisniku
- Troškovna učinkovitost:
 - Povećanje mrežne profitabilnosti

4.3 Kapacitivne razlike u mrežama četvrte i pete generacije

Kako se vidi na grafikonu 5, u svakom evolucijskom razvoju dodaje se kapacitet u mreži. U prva 4 koraka razvoja, dodani kapacitet je razmjeran opsegu propusne moći koristeći 4G spektar, dok se u petom i šestom razvojnom koraku vidi značajno povećanje kapaciteta mreže zbog visoke spektralne učinkovitosti masivne MIMO tehnologije. 5G mreža uz uporabu masivne MIMO tehnologije, koristiti će 80 MHz-ni širokopojasni spektar kao bi se povećala spektralna učinkovitost same mreže, te kapacitet povećao maksimalno, [12].

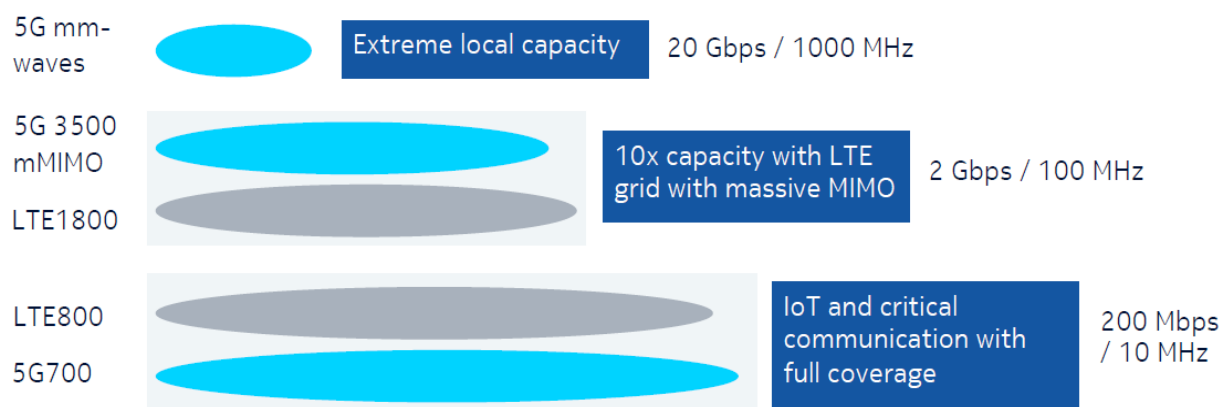


Grafikon 5: Relativni kapacitet i troškovna učinkovitost evolucijskih razvoja

Izvor: [12]

Kako kapacitet raste u svakom evolucijskom koraku, tako se povećava i troškovna učinkovitost mreže. Mjesto gdje je implementirana 4G i 5G tehnologija kombinirano, ima mogućnost isporuke mobilnih podataka 10 puta troškovno učinkovitije nego na mjestima gdje je posluživanje omogućeno isključivo osnovnom 4G tehnologijom, poput današnje. Na mrežnoj razini, povećanje učinkovitosti mreže je nužno kako bi bilo omogućeno upravljanje mobilnim podacima, uzimajući u obzir ograničeni budžet kapitalnih troškova operatora⁶, [12].

5G mreža na srednjem frekvencijskom opsegu od 3,5 GHz može koristiti postojeće bazne stanice kako bi se ubrzala implementacija sustava te omogućuje približno jednaku pokrivenost signalom kao i LTE mreža koja koristi frekvencijski opseg od 1,8 GHz. Navedeno se postiže s razlogom što 5G omogućuje veću dobit od antene zbog efikasnije uporabe dijagrama zračenja. 5G također treba frekvencijski opseg niži od 1 GHz radi široke pokrivenosti signalom, osobito kod kritičnih aplikacija niske latencije i pouzdanu komunikaciju u IoT konceptu. Milimetarski valovi optimizirani su za iznimno visoke brzine prijenosa podataka za lokalne žarišne točke (engl. *hot spot*) ili za fiksne bežične veze. Način pokrivanja 5G signala prikazan je na slici 11, [41].



Slika 11: Otisak pokrivanja 5G signalom, [41]

Predviđa se da će do 2023. godine broj korisnika 5G mreža doseći jednu milijardu, a globalni mobilni podatkovni promet će se povećati osam puta. Sve to zahtijeva učinkovitiju tehnologiju, veće podatkovne brzine i bolju iskoristivost spektra. Stoga je posebno značajna demonstracija uživo 5G sustava premijerno izvedena u Hrvatskoj, u kompaniji Ericsson Nikola Tesla, samo mjesec dana nakon Svjetskog kongresa mobilnih tehnologija u Barceloni na kojem je potvrđena spremnost 5G za korištenje, [45].

Predstavljena je suvremena tehnologija koja radi u visokofrekventnom području, čija se šira uporaba u Europi očekuje tek iza 2020. godine, u drugom valu 5G implementacija koje će, prema prognozama stručnjaka, iz temelja promijeniti mnoge industrijske procese, komunikacijske mogućnosti krajnjih korisnika i društvo u cjelini. Konfiguracija koja sadrži radijsku postaju i dva terminala omogućuje zorni prikaz povećanja kapaciteta sustava

⁶ Kapitalni troškovi ili CAPEX su troškovi koji nastaju ulaganjem operatora elektroničkih komunikacijskih usluga u nabavi opreme i/ili dizajn mrežne infrastrukture

opremljenog višekorisničkom tehnologijom s više prijemnih i odašiljačkih antena (MIMO) pa je demonstrirana stabilna brzina prijenosa podataka od preko 20 Gbit/s istodobno s prijenosom video sadržaja vrlo visoke razlučivosti (4K), [45].

Navedeno u praksi znači da će većem broju korisnika, čak i u ruralnim sredinama ili npr. na otocima, istovremeno biti osigurani mobilni komunikacijski kapaciteti kakve danas pruža samo optička infrastruktura u urbanim sredinama. Dodatno, kompanija Ericsson uvodi nove radijske proizvode koji podržavaju masivnu MIMO tehnologiju. Ovi proizvodi omogućuju jednostavnu evoluciju s 4G na 5G mrežu i odgovor su na potrebu za većim kapacitetom, uz jednostavnije korištenje za šire usvajanje.

Nova kategorija radijskih proizvoda za gradove, Street Macro predstavlja novi sloj između makro i mikro ćelija. Ova radijska oprema smanjenog ugljičnog otiska, nalazit će se na fasadama zgrada te nuditi potrebnu snagu za osiguravanje efikasnosti i pokrivenosti mreže. Sve instalirane radijske jedinice Ericsson Radio sustava isporučene od 2015. godine moći će postati 5G NR (engl. *5G New Radio*) samo uz pomoć instalacije novog softvera, [46].

Dostupan u četvrtom tromjesečju 2018. godine, Ericssonov 5G radijski mrežni softver omogućit će podršku za više širina pojasa i globalno uvođenje. Operatorima će omogućiti korištenje novog frekvencijskog spektra kada postane dostupan. Novi 5G radijski mrežni softver nadopunjuje Ericssonovu već uvedenu digitalnu jedinicu i 5G radijsku opremu. Operatori jednostavno mogu aktivirati svoje 5G mreže i poduzeti prve korake uz komercijalne 5G mogućnosti i nove aplikacije iskorištavajući napredne usluge mobilnog širokopojasnog pristupa. Ovo će podržati rastući podatkovni promet te omogućiti dostup do multimedijskog sadržaja, poput 4K/8K streaminga video sadržaja i virtualnu te proširenu stvarnost. Prema Ericssonovoj novoj studiji vezanoj uz unaprijeđeni mobilni širokopojasni pristup, evolucija na 5G omogućit će 10 puta manje troškove po gigabajtu nego 4G, [46].

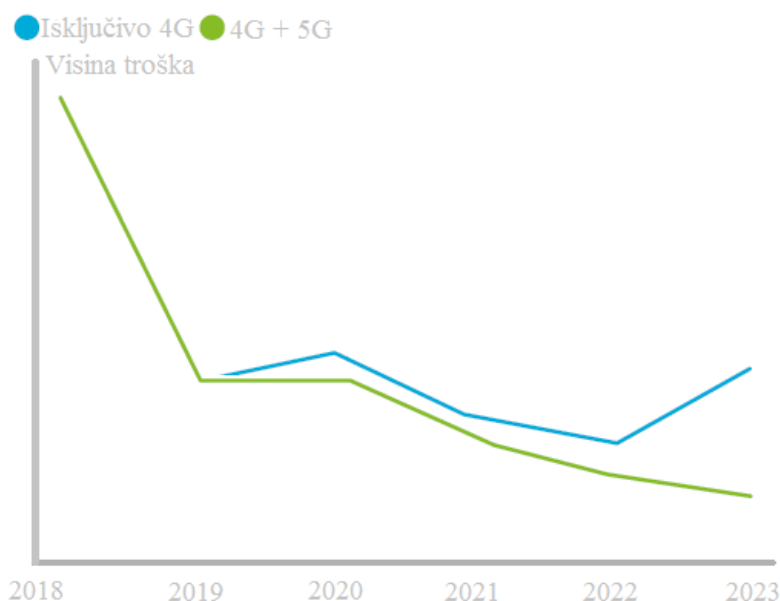
4.4 Vrijednosni utjecaj 4G i 5G mreže

Na temelju potrebe za efikasnijim mrežama i boljim korisničkim iskustvom, Ericsson je naveo tri fundamentalna područja u kojima pružatelji usluga trebaju uspjeti: efikasnost koja donosi nižu cijenu gigabajta, digitalno iskustvo koje unaprjeđuje korisnički doživljaj i smanjuje cijenu te stvaranje novih prihoda na temelju 5G i IoT korisničkih slučajeva, [48].

Prema istraživanju provedenog od strane kompanije Ericsson, cijena gigabajta nastaviti će padati i to u dva moguća scenarija:

1. Količina prometa na mreži dosegne razinu na kojoj kapacitet koju pruža 4G mreža nije dovoljan, uz potpuno iskorištenje dostupnog frekvencijskog spektra.
2. Udio uređaja s podrškom za 5G se poveća za značajnu razinu, omogućavajući širenje 5G NR razvojne evolucije. Kapacitet 5G mreže u tom slučaju rasterećuje 4G mrežu i smanjuje potrebe za novim mjestima postavljanja baznih stanica.

Kao što se vidi na slici 12, postoji mala razlika između visine troška dva scenarija implementacije mreže do 2020. godine. Kako 5G frekvencijski spektar još nije dostupan i prodor uređaja s 5G podrškom na tržište je nisko, bilo koji način proširenja kapaciteta vrši se trenutno na 4G mreži, [12].



Slika 12: Troškovi implementacije mreže
Izvor: [12]

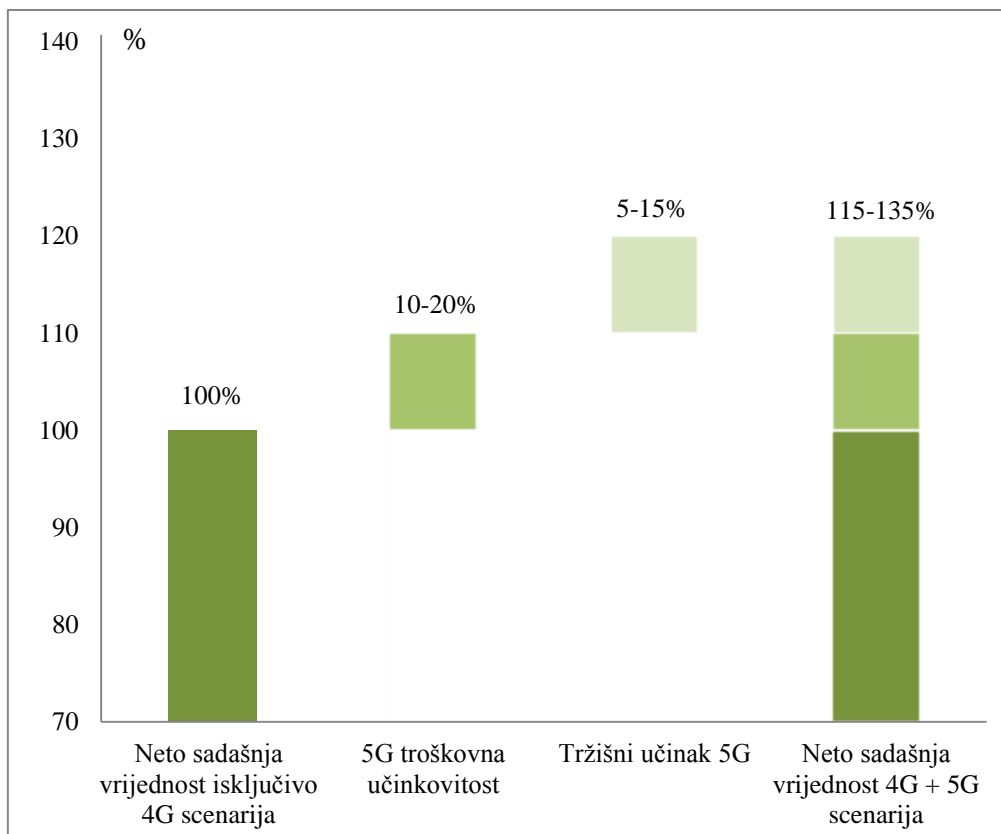
Do 2023. godine javiti će se velika potreba za dodatnim kapacitetom mreže koji se može nositi sa zahtjevima velike količine prijenosa podataka i visokih performansi mreže koju očekuje korisnik. U scenariju proširenja kapaciteta na isključivo 4G mreži, značajna količina kapaciteta bit će dodana postavljanjem novih baznih stanica, što će imati velik utjecaj na visinu cijene gigabajta koji se isporučuje korisniku. U drugom scenariju, kombinacijom 4G + 5G mreža, dodatni kapacitet koji pruža 5G mreža je više troškovno učinkovitiji, te potreba za povećanjem gustoće mreže dodavanjem novih baznih stanica je ograničen. Kako se tržišna penetracija 5G uređaja povećava, razvoj dodatnog kapaciteta mreže postati će sve isplativiji, [12].

Ericsson ConsumerLab ispitao je korisnike pametnih terminalnih uređaja u 50 zemalja na temu pokretača uspjeha 5G kod kupaca. Došli su do zaključka da korisnici ne žele samo novu generaciju mobilne telefonije nego žele potpuno novo iskustvo. Da bi došao do srži korisničkih očekivanja, Ericsson je detaljno povezao informacije o očekivanjima korisnika sa savjetima o evoluciji poslovanja i mreža te došao do četiri područja na koja se pružatelji usluga trebaju usredotočiti. Prema [47], ta područja su:

- Zadovoljavanje potrebe korisnika za nečim više
 - Oko 30 % korisnika pametnih mobilnih telefona očekuje da će 5G osigurati veće brzine od onih koje trenutačno daje 4G, a korištenje podataka je ključni pokretač potražnje za većim brzinama. Rješenje: Izgradnja kapaciteta gdje je potrebno. Evolucija mreža prema 5G je presudna u držanju koraka s potražnjom za većim

brzinama i boljom kvalitetom korisničkog iskustva. Kako bi se osigurala troškovna učinkovitost u isporuci kvalitetne mrežne pokrivenosti, korištenje 5G kapaciteta treba započeti na lokacijama s najvećim zagušenjem.

- 5G mora biti bolji od Wi-Fi-ja
 - Trećina globalnih korisnika koja preferira Wi-Fi zbog brzine, pouzdanosti, sigurnosti i video iskustava očekuje da će 5G biti bolji od Wi-Fi-ja. Rješenje: 5G je prilika da se dovede u pitanje korisnička percepcija kako Wi-Fi daje bolju vrijednost za novac. Jednom mobilnom uslugom, zasnovanom na 4G i 5G, korisnici će dobiti poboljšano iskustvo, a Wi-Fi lozinke bi mogle otići u povijest.
- Aplikacije, usluge i uređaji za 5G eru
 - Polovina globalnih korisnika želi prijeći na 5G mobilni uređaj u roku od godine dana od dostupnosti mreže, a njih 18 % kaže da će prijeći na 5G uređaj čim mreže budu spremne. Preko četrdeset posto ih kaže da će biti potrebna cijela nova klasa uređaja koji prate 5G brzine. Rješenje: Korisnici neće nužno platiti više za mobilni širokopojasni pristup samo zato što se isporučuje preko 5G mreže. Veći potencijal za zaradu mora doći od istinske dodane vrijednosti za korisnike. Nove usluge će imati bitnu ulogu, zajedno sa slučajevima upotrebe koji pokazuju dobrobiti 5G.
- 5G s ranim korisnicima
 - Uspjeh 5G će ovisiti o njegovoj privlačnosti među takozvanim 5G predvodnicima koji čine 14 % globalnih korisnika pametnih mobilnih uređaja. Taj tehnološki potkovan segment korisnika ima visoka očekivanja od 5G. Promidžba nove tehnologije će zahtijevati posebnu pažnju kako bi se dobilo najviše od ranog puštanja u promet. Ericssonova studija je pokazala da se više od polovine globalnih korisnika, posebno rani korisnici, slaže da su 3G usluge oglašavane kao 4G usluge, prije no što je 4G bio šire dostupan te očekuju da će se isto dogoditi i s 5G. Rješenje: Kontinuirano razvijati mrežu i marketing, korak po korak. Puštanje u promet 5G bi trebalo biti postupno, uključujući redovna poboljšanja kapaciteta sadašnjih 4G mreža kroz određeno vremensko razdoblje. Postupni pristup će operatorima omogućiti da s poboljšanjima idu korak po korak te da se finalno usredotoče na nove usluge koje 5G omogućuje, što je bolje nego promidžba 5G kao samostalne tehnologije koja bi mogla uzrokovati konfuziju, [47].



Grafikon 6: Vrijednosni utjecaj 4G i 5G mreže

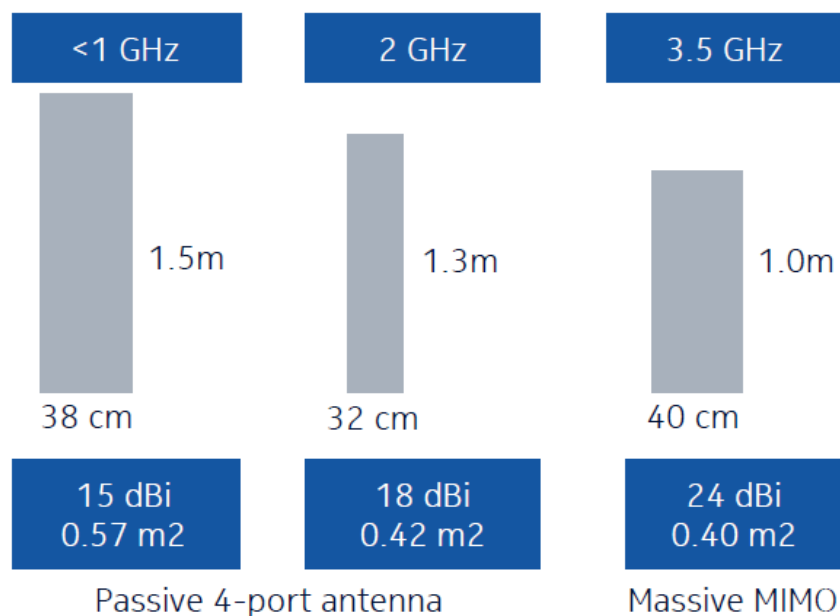
Izvor: [12]

Kako bi se procijenio cjelokupni vrijednosni utjecaj 5G mreže, uspoređena je neto sadašnja vrijednost (engl. *Net Present Value* - NPV) dva scenarija implementacije, vidljiva na grafikonu 6. Slika prikazuje poboljšanje od 10 do 20 % u scenariju 4G + 5G, što je izravna posljedica troškovne učinkovitosti koju pruža 5G mreža, [12].

4.5 Očekivanja o brzini i kvaliteti mreže

Masivne MIMO antenske konfiguracije atraktivno su rješenje za povećanje kapaciteta, brzine prijenosa podataka, boljom pouzdanosti i pokrivenosti signalom mobilne mreže. Masivna MIMO tehnologija od ključne je važnosti zbog povećanja učinkovitost frekvencijskog spektra. Najnovije 3GPP specifikacije podržavaju formiranje snopa i više frekvencije omogućuju masivne MIMO antenske sustave u dovoljno maloj formi, stoga ne zauzimaju puno prostora za implementaciju.

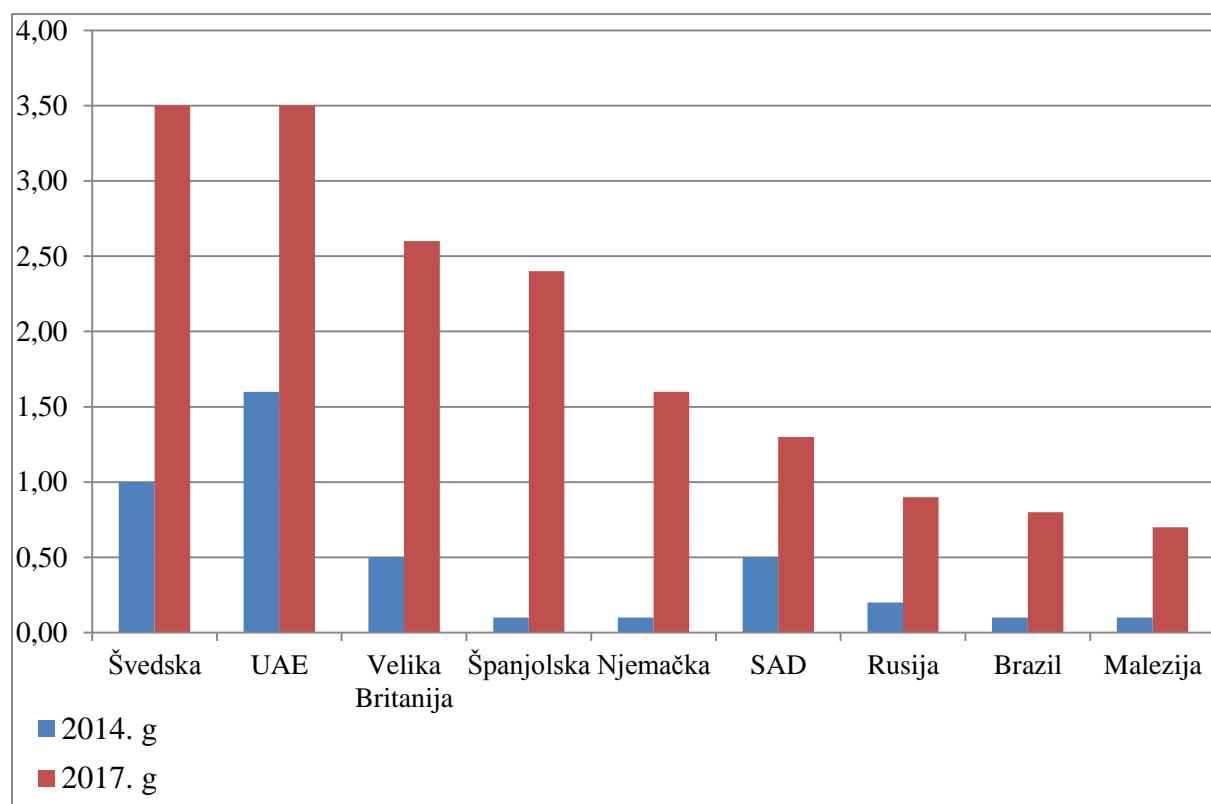
U frekvencijskom opsegu od 3,5 GHz MIMO antenske konfiguracije su najpogodnije za postavljanje zbog visokih dobitaka antena. S većim dobitcima antena, povećava se pokrivenost signalom, a samim time i kvaliteta pružanja usluge teleoperatora. Točan dobitak antena ovisi o njihovoj konfiguraciji: broj antenskih elemenata, broj primopredajnika i izlazne snage. Na slici 13 prikazane su uobičajene veličine antena u usporedbi sa izlaznom snagom, [41].



Slika 13: Veličina antena usporedno s izlaznom snagom

Izvor: [41]

Paralelno s rastom prometa u mreži, očekivanja o kvaliteti usluge i dalje rastu. Slijedom navedenog, kako bi se isporučio konkurentno korisničko iskustvo, davatelji usluga moraju nastaviti povećavati svoje ciljane razine pružanja kvalitete usluga. Konstantan napredak u kvaliteti pružanja usluga je cilj svakog operatora. Na grafikonu 7 prikazano je korisničko iskustvo za referentne zemlje između 2014. i 2017. godine.



Grafikon 7: Prosječne performanse mreže na rubovima ćelija izražene u Mbit/s

Izvor: [12]

5G mreža je jako povezana s boljim doživljajem korisničkog iskustva. U istraživanju provedenog od strane Ericsson ConsumerLab, više od 70 % korisnika identificirali su aspekte izvedbe kao što su povećanje brzine prijenosa podataka, bolja pouzdanost mreže i smanjenje latencije kao njihova primarna očekivanja od 5G mreže. To sugerira da 5G neće biti samo poboljšanje širokopojasne mreže, već i poboljšanje širokopojasne usluge na koje su se potrošači već pretplatili, [12].

4.6 Perspektiva 4G i 5G mobilnih mreža

Velikom tržišnom moći i potencijalnom promjenom paradigme mobilne mreže pete generacije, Gigabit LTE je lako predvidjeti. Tehnologija i dalje nudi velika povećanja brzine korisnicima mobile mreže, ali je i dalje ostalo puno mjesta za razvoj u smislu povećanja brzine prijenosa podataka u mnogim svjetskim LTE mrežama. Treba obratiti pozornost na količinu prikupljenih podataka u nekim od zemalja najbržeg pristupa Internetu u odnosu na Sjedinjene Američke Države, većinu Europe, Indiju itd. Davatelji usluga u tim zemljama mogu se jasno nositi i dostići vodeće tvrtke u toj industriji poput onih u Južnoj Koreji, bez potrebe za tehnologijama poput 5G mreže, [13].

Za pametne terminalne uređaje, Gigabit LTE se može koristiti čak i za najteže potrošačke slučajeve upotrebe mobilnih uređaja, kao što je prijenos signala 4K videozapisa, koji zahtjeva brzinu prijenosa podataka u silaznoj vezi od samo 13 Mbit/s za prijenos u stvarnom vremenu. Naravno, ukoliko ste spojeni na Gigabit LTE mobilnu mrežu, ne mora značiti da ćete imati brzine prijenosa podataka od 1000 Mbit/s, ali žične širokopojasne brzine veće od 50 Mbit/s su uobičajene u navedenim mrežama. Umjesto toga, 5G mobilna mreža biti će više od značenja za IoT koncept i slučajeve upotrebe vrlo niske latencije, kao što su autonomna vozila, nego što je to za uobičajenog, svakodnevnog korisnika mobilnog Interneta.

Navedeno ne znači kako treba odbaciti 5G kao važnu evoluciju u mobilnim mrežama. Uz veću brzinu prijenosa podataka, dodatnu propusnost i manju latenciju, 5G će predstavljati revoluciju u primjeni IoT slučajeve upotrebe, automatskim i povezanim industrijama, kao i omogućavajući nove, učinkovitije usluge kada se pozadina 5G mreže prebaci sa današnje LTE jezgre. Međutim, prve 5G mreže neće biti dostupne barem prije 2019. godine, a čak i tada većina će ih biti rezervirana za određene lokacije unutar gradova. Pametni mobilni terminalni uređaji s modemima i implementiranim pristupnim radio frekvencijama za novu generaciju mobilnih mreža, očekuju se još kasnije od 5G mreže. LTE će i dalje pružati okosnicu svih globalnih mobilnih mreža u doglednoj budućnosti. Prve 5G Non-Standalone mreže će samo povećati postojeće mreže uvođenjem novih frekvencijskih opsega u višem frekvencijskom spektru, [13].

5. Informacijsko-komunikacijske usluge u 5G mreži

Usluge prijenosa podataka pojavile su se u 2G evoluciji mobilnih komunikacija, rasle u 3G eri, te postale aplikacija koja se najviše koristi u 4G mobilnoj eri. Omogućavajući poboljšano korisničko iskustvo i puno veći kapacitet mreže, 5G je spreman započeti novu eru mobilnih komunikacija. Dolaskom 5G mreže uspostaviti će se apsolutna povezanost objekata, ljudi, podataka i procesa u cjelinu. Kako bi se ubrzao dolazak ove inovativne tehnologije, kombinirati će se mnoge druge poput velikih podataka (engl. *Big Data*), računalstva u oblaku, umjetne inteligencije i sl.

Istraživačkim aktivnostima Ericsson ConsumerLaba, ističe se 6 najznačajnijih zahtjeva korisnika vezano uz ponudu usluga mobilnog širokopojasnog pristupa sada i u 5G budućnosti. Korisnici predviđaju da će većina 5G osnaženih usluga postati široko rasprostranjene u tri do četiri godine od uvođenja 5G mreže te predviđaju da se u 5G budućnosti neće plaćati svaki potrošeni gigabajt. Prema [49], 6 najznačajnijih zahtjeva korisnika su:

- Omogućiti jednostavan doživljaj kupovanja
 - Korisnici telekom tržište doživljavaju suviše složenim. Uz 6 od 10 korisnika koji se bore sa složenošću paketa mobilnih usluga, veliki je nesklad između onoga što korisnici kupuju i onoga što koriste. Uz svega 3 od 10 korisnika pametnih telefona zadovoljnih načinom na koji operator predstavlja pakete usluga online, doživljaj digitalnih telekomunikacija nije niti jednostavan niti bez napora.
- Ponuditi dojam neograničenosti
 - Korisnici ne računaju na neograničenu količinu podataka, no očekuju osjećaj neograničenosti. Opuštenost je glavni motivator vezan uz neograničene podatke i operatori moraju istražiti alternativne načine da ponude taj osjećaj slobode.
- Gigabajti kao valuta
 - Prosječnom korisniku pametnog telefona tijekom godine ostane neiskorišten 31 gigabajt mobilnih podataka iz tarife što je dovoljno za 65 sati video poziva, 517 sati streaminga glazbe ili gledanje 6 sezona serije Igra prijestolja. Što znači da prosječni korisnik ima 1,5 terabajta podataka na raspolaganju tijekom života. Dva od pet korisnika željelo bi taj višak koristiti kao valutu te očekuju mogućnost štednje, trgovanja ili darovanja neiskorištenih podataka.
- Pružiti više od samih podataka
 - Više brzine širokopojasnog pristupa i poštenu uvjeti ugovora o mobilnoj komunikaciji smatraju se važnijim od same količine podataka koji trenutačno dominiraju na tržištu. Kako kombinacije video sadržaja i inovativne ponude podataka igraju sve značajniju ulogu u izboru operatora i paketa usluga, korisnici od operatora očekuju inoviranje, razvoj te personalizaciju podatkovnih planova.
- Pružiti više uz 5G
 - Suprotno vjerovanju prema kojem korisnici nisu zainteresirani za 5G, globalno je ideja 5G usluga zanimljiva za čak 76 % korisnika pametnih telefona, a 44 posto ih je spremno platiti za 5G. Korisnici očekuju da će većina 5G usluga postati široko

rasprostranjena u 3 do 4 godine, a preko 50 % ih očekuje da će 5G-osnažene usluge početi koristiti već u razdoblju od dvije godine nakon uvođenja. Više od trećine ih očekuje da 5G ponudi nove mogućnosti. Uz brzinu, pokrivenost mrežom i niže cijene, očekuju i poboljšanja poput duljeg trajanja baterije te mogućnost spajanja, ne samo s uređaja, već i s Interneta stvari. Korisnici također predviđaju da više neće plaćati potrošnju gigabajta već svaku 5G uslugu ili povezani uređaj.

- Pokazati prave mrežne karakteristike
 - Na putu prema 5G budućnosti, korisnici od operatora žele ukidanje marketinških slogana bez pokrića. Umjesto toga operatori se trebaju usredotočiti na pravo mrežno iskustvo te povećati poštenje vlastitog marketinga jer izvještaj pokazuje da svega 4 % ispitanika vjeruje oglašavanju i statistici vezanoj uz performanse mreža, [49].

Kako bi se omogućio dovoljno širok raspon različitih usluga, kontinuiran i dugoročni razvoj mreže je vrlo bitan. Usporedno s tim možemo primijetiti kontinuiran razvoj aplikacija koje koristimo svakodnevno, a jedna od najvećih promjena je poboljšanje kvalitete online videozapisa. Prema istraživanju tvrtke Huawei Wireless X Labs, ukoliko se uzme u obzir različiti kutovi gledanja, prosječna duljina ruke i očekivane razine udobnosti, maksimalna rezolucija zaslona mobilnog terminalnog uređaja iznositi će 5K. Potrebna brzina prijenosa podataka za prijenos 5K videa iznositi će samo 20 Mbit/s, [16].

Usluge računalstva u oblaku razvijaju se rapidno, s kontinuiranim poboljšanjima vezane uz količinu pohrane podataka i mogućnosti prikaza istih. Mnoge usluge mogu se pružiti korisnicima preko oblaka kako bi se smanjili troškovi, te omogućili bolju i lakšu povezanost između poslužiteljskih platformi. Kombiniranjem virtualne stvarnosti (engl. *Virtual Reality* - VR) i računalstva u oblaku značajno se može povećati sveprisutnost pristupu uslugama. Igre u virtualnoj stvarnosti, modeliranje i ostale usluge mogu biti izvedene u oblaku, a zatim se reproducirati u stvarnom vremenu na terminalni uređaj putem pouzdanih mreža velikih brzina.

Još jedan ključan razvoj u prijenosu 5G videa je taj da gledatelj može biti promatrač, kao i u dosadašnjem pregledavanju video zapisa, ali može biti i stroj. Primjer gledatelja u obliku stroja je da korisnik upravlja dronom koji identificira registarske pločice vozila, šalje ih u oblak na analizu, te daje gledatelju podatke u stvarnom vremenu. Takav način prijenosa videozapisa može se emitirati 24/7 neprekidno, bez pomoći ljudskog faktora, [16].

5.1 Utjecaj opcija implementacije na usluge u 5G mreži

Oba pristupa implementacije 5G mreže, samostalni i nesamostalni, podržavati će pružanje usluga u mreži. Usluge zahtjevne niskom latencijom poput ultra pouzdane komunikacije s niskom latencijom (engl. *Ultra Reliable Low Latency Communications* - URLCC) biti će omogućene u svim opcijama mrežne arhitekture 5G mreže. Međutim, u pružanju usluga s niskom latencijom vjerojatnije je kako će samostalna opcija mrežne arhitekture sustava ponuditi korisnicima niže latencije i veću kvalitetu usluge od nesamostalne

opcije arhitekture, posebno ako LTE pristup nije nadograđen kako bi podržao značajke za odvijanje komunikacije sa niskom latencijom, [51].

Povećanjem broja korisnika na nesamostalnoj opciji 5G arhitekture, veoma su moguća ograničenja u jezgrenom djelu mreže što će utjecati na kvalitetu pružanja usluge i povećanje latencije u mreži. Kako bi se izbjegla ograničenja na mreži, nužne su promjene na fizičkom sloju kako bi latencija ostala dovoljno niska. Glasovne usluge ostati će nepromijenjene u usporedbi s 4G LTE rješenjima u prvim implementacijama nesamostalne opcije mrežne arhitekture. Kasnije, pojavom zahtjevnijih aplikacija i povećanjem kvalitete usluga, mrežna arhitektura će zahtijevati nadogradnju IP podsustava za multimediju (engl. *IP Multimedia Subsystem* - IMS) kako bi se ostvario puni potencijal mreže.

Virtualizacija i mreža definirana softverom (SDN), omogućuju stvaranje mrežnih odsječaka koji podržavaju potpuno nove usluge s različitim ugovorima o razini kvalitete usluga (engl. *Service Level Agreement* - SLA) i bez prekida već postojećih usluga. S opcijom mrežnog slaganja, davatelji informacijsko-komunikacijskih usluga i kompanije moći će odgovoriti na različite zahtjeve i potrebe korisnika usluga. Kao primjer, davatelji usluga će pružiti mogućnost stvaranja potpuno povezane okoline (npr. tvornice ili poduzeća) kako bi se ostvario potpuno automatizirani i fleksibilni proizvodni sustav, [52].

U zdravstvu, bolnice će moći organizirati i ostvariti operacijske zahvate pomoću upravljanja na daljinu, gradske vlasti će biti zaslužene za upravljanje prometom u stvarnom vremenu i upravljanjem video nadzorom s prilagođenim zahtjevima kvalitete i sigurnosti. S različitim mrežnim odsječcima unutar grada mogu se odvojiti općine kako bi se olakšali administrativni poslovi i odgovorili na zahtjeve svake općine pojedinačno. U tablici 4 je prikazana komparacija između prvih predviđenih implementacija samostalne i nesamostalne mrežne arhitekture.

Tablica 4: Usporedba nesamostalne i samostalne opcije 5G arhitekture

Razmatranje	Nesamostalna opcija	Samostalna opcija
Rješenja	Dvostruka povezanost LTE i NR (engl. <i>New Radio</i>) standarda sa EPC (engl. <i>Envolved Packet Core</i>) jezgrenom mrežom	NR kao radijska pristupna mreža sa 5G jezgrenom mrežom
Standardizacija	Verzija 15 3GPP standarda iz 12. mjeseca 2017. g s ispravcima u 6. mj. 2018. g	Verzija 15 3GPP standarda iz 6 mjeseca 2018. godine
Prva mobilna oprema	Chipset: druga polovina 2018. godine Korisnička oprema: prva polovina 2019. godine	Chipset: druga polovina 2019. godine Korisnička oprema: prva polovina 2020. godine
Latencija	Viša od očekivane zbog uporabe dvostruke povezanosti mreže	Težiti će prema 1 ms

Pokrivenost korisničke opreme	signalom	Identična postojećom LTE mrežom	Ograničeno 5G NR frekvencijskim opsegom
Kontinuitet usluga prema LTE	prema	Korisnička oprema konstantno zakačena na LTE signal te ukoliko nema 5G signala, neometano se odvija komunikacija	Potrebno je omogućiti međusobno preklapanje više signala, što će biti moguće zbog velike gustoće ćelija
Kontinuitet usluga prema 2G/3G	prema	Omogućeno	Nije moguće. Kontinuitet usluga od 3G do 5G će biti istražen u 3GPP verziji 16
Uporaba malih ćelija visoke gustoće		LTE signal iz makro ćelije kombiniran s NR signalom iz malih ćelija	NR signal iz makro ćelije kombiniran s NR signalom iz malih ćelija

Izvor: [51]

5.2 Očekivane usluge 5G mobilne mreže

Proces redizajna mrežne arhitekture na slojeve omogućiti će korisnicima 5G mreže pristup personalizaciji korisničkih slučajeva. Pristup će se temeljiti na digitalnom modeliranju i intuitivnom dizajnu uz pomoć teleoperatora. Iterativni koncept dizajna mreže sastoji se od sljedećih ključnih komponenti, prema [52]:

- Razumijevanje zahtjeva slučajeva uporabe
- Implementacija mreže u skladu sa zahtjevima
- Preciznost i pouzdanost mreže
- Simulacije novih tehnologija i usluga
- Umjetna inteligencija i strojno učenje za obradu velikih količina podataka

Mobilne mreže osmišljene su za stvaranje potpuno povezanog svijeta, u kojem su generirani podaci kontekstualizirani, konstruirani i obrađeni preko oblaka uz konstantno stvaranje novih vrijednosti. Povezana vozila, pametna proizvodnja, globalna logistička praćenja, pametna poljoprivreda, pametno mjerenje i druge su jedne od prvih aplikacija i one koje najviše obećavaju u području IoT koncepta. Od navedenih aplikacija se očekuje veoma brz razvoj u novoj 5G eri mobilnih komunikacija, [16].

Provedenom analizom tvrtke Huawei, prema, [16], sljedećih 10 aplikacija će imati vrlo veliku važnost u 5G mobilnoj mreži:

1. Virtualni oblak i Proširena stvarnost – Igranje/modeliranje u stvarnom vremenu
2. Autonomno povezivanje – Autonomna vozila i međusobna komunikacija
3. Pametna proizvodnja – Udaljeno upravljanje bazirano na računalstvu u oblaku
4. Energetska povezanost – Autonomno napajanje energijom
5. Bežično eZdravlje – Udaljena dijagnostika s povratnom informacijom o stanju
6. Bežično kućno okruženje – UHD 8K Video & igranje baziranu u oblaku
7. Povezani dronovi – Profesionalna inspekcija i sigurnost

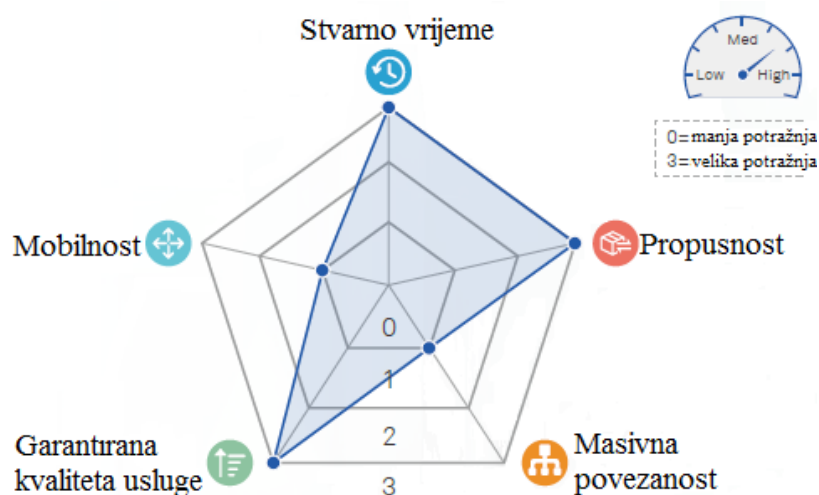
8. Društvene mreže – UHD/Panoramsko emitiranje signala uživo
9. Osobni asistent – Potpomognute pametne kacige
10. Pаметni grad – Video nadzor grada

Aplikacije razvijane za 5G mrežu su vrlo raznolike i imaju različite zahtjeve mreže, posebno vezano uz visinu dopuštene latencije, visinu vršnog prijenosa podataka, gustoće povezanosti terminalnih uređaja i napajanje uređaja. Kako bi se ostvario puni potencijal 5G mreže, morati će se zadovoljiti različiti zahtjevi na način kako mreža dodjeljuje određene resurse različitim aplikacijama. Prema [53], sljedeće aplikacije se ne mogu adekvatno i dovoljno kvalitetno koristiti te će biti od visoke važnosti nakon dolaska 5G mobilne mreže:

- Aplikacije vezane uz virtualnu i proširenu stvarnost
- Aplikacije vezane uz transport
- Aplikacije vezane uz automatizaciju industrije
- Aplikacije vezane uz zdravstvo
- Aplikacije vezane uz pametne gradove

5.2.1 Aplikacije vezane uz virtualnu i proširenu stvarnost

Provedenom analizom kompanije Ericsson, otkriveno je kako potrošači očekuju da će se virtualna stvarnost (VS) i proširena stvarnost (PS) stopiti s fizičkom te da će 5G biti ključna tehnologija koja će omogućiti da takva iskustva postanu uvriježena. Analiza otkriva da gubljenje granica u ljudskoj percepciji fizičke i virtualne stvarnosti može imati drastične učinke na živote i društvo. Naš način života, rada, konzumiranja informacija i medija će se promijeniti u korijenu, [50].



Slika 14: Zahtjevi VS/PS aplikacije bazirane u oblaku, [16]

Podaci i proračunsko korisni zadaci će se nakon obrade premjestiti u oblak, koji mora pružati dovoljno mjesta za pohranu, te obraditi podatke u stvarnom vremenu, što omogućuje, prema, [16]:

- Značajno smanjenje cijena terminalnih uređaja, omogućavajući tako uređaje dostupne svim krajnjim potrošačima

- Tržište bazirano na računalstvu u oblaku raste rapidno, s povećanjem korisnika od 18 % po godini. U sljedećih 10 godina, domovi i uredi će sve više odustajati od klasičnih računala i prijenosnih računala i okrenuti se prema zaslonima povezanim na oblak (engl. *Cloud connected display screens*) i raznim sučeljima koja se aktiviraju glasovnom naredbom i/ili dodiranjem. Povećanjem mrežnog prometa i potrebama za većim brzinama prijenosa podataka, 5G će značajno poboljšati pristup navedenim uslugama temeljenim na računalstvu u oblaku.

Stvarnosti se neće spojiti ako je korisnik spojen kablom za računalo ili odvojen od fizičke stvarnosti. Korisnici koji su rano prigrlili VS/PS očekuju da će sljedeća generacija mreža poput 5G ovdje imati ključnu ulogu. Njih 36 % očekuje da će 5G omogućiti VS/PS mobilnost putem stabilne brze mreže visokih frekvencija. 30 % ranih korisnika tehnologije također očekuje da će 5G omogućiti da kablovima priključena oprema za VS postane bežična, [50].

Jedno od najznačajnijih otkrića najnovijeg izvještaja je da 7 od 10 ranih korisnika tehnologije očekuje da će VS/PS u cijelosti promijeniti svakodnevni život u šest područja: medijima, obrazovanju, radu, društvenim interakcijama, putovanju i trgovini. Mediji se već transformiraju i potrošači očekuju da će virtualni ekrani početi zamjenjivati televizore i kazališta u manje od godinu dana, [50]. U tablici 5 prikazana je PS/VS evolucija.

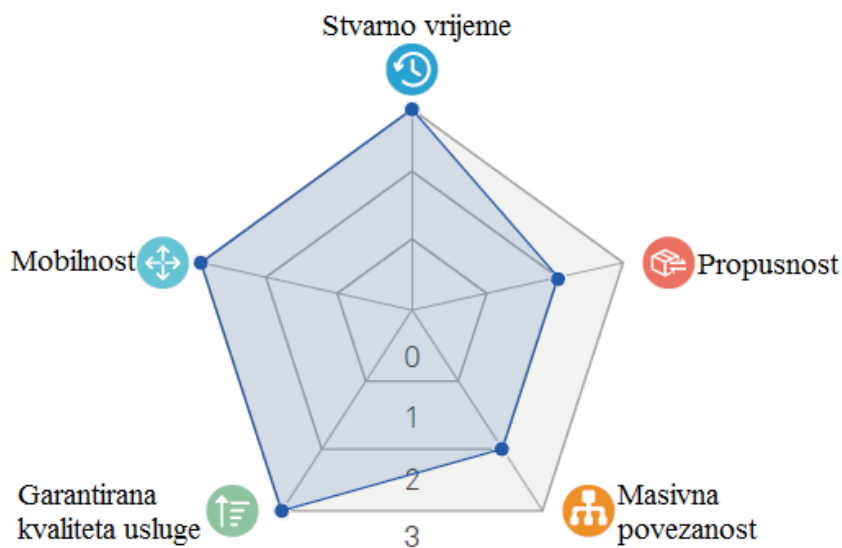
Tablica 5: PS/VS evolucija i zahtjevi za povezivanjem

	Razina 0/1	Razina 2	Razina 3/4
VS aplikacije i tehničke značajke	PC VR - Simulacija igara (obrada pokreta i prikaza istih na terminalnom uređaju) Mobile VR -Edukacija putem 360 ⁰ videa (prijenos video signala u stvarnom vremenu, obrada pokreta i prikaz na terminalnom uređaju)	Cloud Assisted VR – Umirujući sadržaj, interaktivna komunikacija, vizualizacija/dizajn (pokret koji se obrađuje u oblaku)	Cloud VR – Igranje, napredni doživljaj modeliranja (pokret koji se obrađuje u oblaku te se u stvarnom vremenu prikazuje na korisnikovom terminalnom uređaju)
PS aplikacije i tehničke značajke	2D AR – Upute za montažu, igranje, rad na udaljenom radnom mjestu, vizualizacija usmjerena maloprodaji/marketingu (Lokalne slike i pregled teksta)	3D AR/Mixed Reality – Holografska vizualizacija, aplikacije vrlo povezane uz javnu sigurnost (Upload slika, multimedija bazirana na računalstvu u oblaku)	Cloud MR – Kombinacija računalstva u oblaku i proširene stvarnosti (Upload slika, ponovljeno prikazivanje slike bazirano u oblaku)
Zahtjevi za povezivanjem	Primarno korištenje Wi-Fi signala, 4G i Wi-Fi prijenos signala do 20 Mbit/s i latencijom do 50 ms	4.5G prijenos signala do 40 Mbit/s i latencijom do 20 ms	5G prijenos signala od 100 Mbit/s do 9.4 Gbit/s i latencijom od 2 do 10 ms

Izvor: [16]

5.2.2 Aplikacije vezane uz transport

Pojavom mreže pete generacije, tržište povezanih automobila doživjeti će radikalnu transformaciju jer će se uloga povezanosti proširiti na sve što nas okružuje, svi objekti, stvari i ljudi biti će dio globalno povezane cjeline. Takav koncept povezanosti omogućiti će puno sigurniju i održiviju mobilnost.



Slika 15: Zahtjevi aplikacija autonomnog upravljanja vozilom, [16]

Ključni tehnološki trendovi koji predvode revoluciju autonomne vožnje, poput korporativnog okruženja, životnog ciklusa vozila, održavanja i podataka sakupljenih senzorima postavljenih na vozilo, zahtijevaju sigurnu, pouzdanu mrežu, s vrlo niskom latencijom i visokom propusnosti kanala, vidljivo na slici 15, [16].

U eri autonomnog upravljanja vozilom, potpuna bežična povezanost omogućiti će dodatne usluge poput navigacijskih sustava integriranih u vozila kako bi se potpuno smanjio utjecaj ljudskog faktora. Smanjenjem izravne ljudske intervencije, povećavaju se zahtjevi za čestom razmjenom informacija između vozila i sustava baze podataka temeljenih na računalstvu u oblaku. Prema istraživanju provedenog od strane ABI Research, predviđa se da će do 2025. godine biti 60.3 miliona povezanih vozila na 5G mrežu, [16].

Komunikacija između vozila (engl. *Vehicle-to-Vehicle* - V2V), komunikacija između vozila i infrastrukture (engl. *Vehicle-to-Infrastructure* – V2I) i ostale aplikacije vezane uz inteligentne transportne sustave, zahtijevaju vrlo nisku latenciju koja je puno niža od trenutnog stanja u LTE mreži. Autonomna vozila i nova generacija *driver-assisted* vozila zahtijevaju sigurnosne stvarnovremena sustave koji su u mogućnosti razmjenjivati podatke s drugim vozilima i infrastrukturom oko njih u stvarnom vremenu. Takvi sigurnosni sustavi mogu funkcionirati isključivo kada je latencija mreže manja od 5 ms i pouzdanost mreže veća od 99,999 %, [53].

Tržište povezanih vozila biti će izuzetno veliko u smislu broja priključenih krajnjih točaka i financijske vrijednosti podataka koji se razmjenjuju između vozila i vozila i

infrastrukture. Pored odvijanja prometa autonomnih vozila u gradovima, sektor prometa predstavlja značajno veliko tržište za razvoj autonomnih vozila u zračnom, morskom i željezničkom prometu, [53].

Povećanjem kapaciteta mreže i umjetnom inteligencijom 5G tehnologija, povezivanje glavnih točaka u gradu s javnim prijevozom će biti puno lakše. Tako će se na dane nogometnih utakmica ili održavanja koncerata javna transportna mreža samostalno korigirati usporedno s traženim kapacitetima za prijevoz putnika na stadionima ili koncertnim dvoranama. Također, mreža nam može pružiti veću vidljivost u kombiniranom kretanju ljudi i prometa, omogućavajući centru za upravljanje prometom planiranje svakodnevnih prometnih tokova i pravovremene izmjene rute kako bi se izbjegla zagušenja u prometu, [54].

5G mreža ima potencijal postati jedinstvena tehnologija koja ujedinjuje sve bitne potrebe za povezivanje, daljinsko upravljanje i kooperaciju autonomnog vozila. 5G može zamijeniti sadašnju alternativnu tehnologiju u uporabi poput kratko dometnih sustava komunikacije između vozila i infrastrukture (engl. *Dedicated Short Range Communication System* - DSRC) koje rade na frekvencijskom području od 5,9 GHz. U tablici 6 je prikazana usporedba 5G i DSRC tehnologije.

Tablica 6: Usporedba 5G i DSRC tehnologije

Kriteriji	5G	DSRC
Izgradnja	Može se graditi na postojeću LTE infrastrukturu	DSRC na temelju 802.11p standarda je već danas standardiziran
Standardizacija	5G će biti standardiziran do 2020. godine	10 godina ispitivanja
Ekspanzija	Proširenje raspona preko standarda 802.11p koji iznosi oko 300 m na nekoliko kilometara	Nepostojanje evolucijskog puta MAC raspon slojeva, robusnost, pouzdanost
Umrežavanje	Stabilna umrežavanja za aplikacije unutar vozila (navigaciju)	Ograničena podrška mobilne brzine i vrijeme uspostave mreže
Sigurnost	Veći standardi u sigurnosti i privatnosti	Nedostatak standardnih aktivnosti za napredno korištenje (sigurnost, automatizirana vozila i sl.)

Izvor: [38]

Kao što je prikazano u tablici 5 vide se mnoge prednosti korištenja 5G mobilne tehnologije od implementacije do usluga koje može pružiti unutar i izvan vozila. Kooperativno prometno okruženje je kompleksno zbog kombinacije nekoliko čimbenika (ljudi, tehnologija i infrastrukture). Kako bi se olakšala operativnost navedenih čimbenika teži se efikasnijim i prihvatljivijim rješenjima, stoga evolutivnim razvojem komunikacijskih tehnologija direktno se utječe i na sam prometni sustav, [38].

Globalno tržište bespilotnih letjelica (engl. *Unmanned Aerial Vehicles* - UAV) znatno je raslo tijekom prošlog desetljeća. Bespilotne letjelice, poznate kao dronovi, postali su dostupni globalno, a upravljanje je omogućeno aplikativnim rješenjima na korisničkom terminalnom uređaju. U svrhu poslovanja vezanih uz infrastrukturu, poput inspekcije radova ili izrade izmjera zemljišta, dronovi se opremaju LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) tehnologijom. LiDAR je optički mjerni instrument koji odašilje laserske zrake, te nakon što se one odbiju od skeniranog prostora, registriraju se u optičkom prijemniku. Skeniranjem LiDAR instrumenta generira se vrlo velika količina podataka koja može premašiti i 200 Mbit/s, a podaci se prenose mrežom u realnom vremenu, [16].

5.2.3 Aplikacije vezane uz automatizaciju industrije

Industrijska automatizacija i robotika vrlo su aktivno tržište za razvoj aplikacija, stoga je koncipiran pojam Industrija 4.0 kako bi se lakše definirao skup tehnologija usmjerenih na poboljšanje učinkovitosti industrije kroz inovativnu uporabu informacijsko-komunikacijskih tehnologija (engl. *Information and Communication Technology* - ICT). Neki od ključnih dijelova Industrije 4.0 su interoperabilnost i povezanost unutar i izvan pametnih tvornica (Industrijski IoT - IIoT), virtualizacija (Dio mreže gdje senzorski uređaji prate fizičke dijelove tvornice te se dobiveni podaci mogu koristiti za testiranje novih koncepata i načina poslovanja) i mogućnosti za kontrolu procesa u realnom vremenu, [53].

Industrija 4.0 može se opisati kao organizacija proizvodnih procesa baziranih na tehnologiji i uređajima za autonomno međusobno komuniciranje. Koncept uzima u obzir povećanu informatizaciju u proizvodnim industrijama, u kojima su fizički objekti jednostavno integrirani sa informacijskom mrežom. Kao rezultat navedenog, proizvodni sustavi su vertikalno⁷ umreženi s poslovnim procesima unutar tvornice i poduzeća i horizontalno⁸ povezani sa mrežama vrijednosnog lanca kojima se može upravljati u stvarnom vremenu. Takav razvoj napraviti će razliku između industrije i manje važnih usluga, budući da su digitalne tehnologije povezane s industrijskim proizvodima i uslugama u hibridne proizvode koji nisu isključivo roba ili usluga. Pojmovi IoT i IoS (engl. *Internet of Services*) smatraju se elementima Industrije 4.0, [29].

Prema službenoj studiji Odbora za industriju, istraživanje i energiju Europske komisije iz 2016. godine, [29], postoji 6 glavnih trendova Industrije 4.0, a to su:

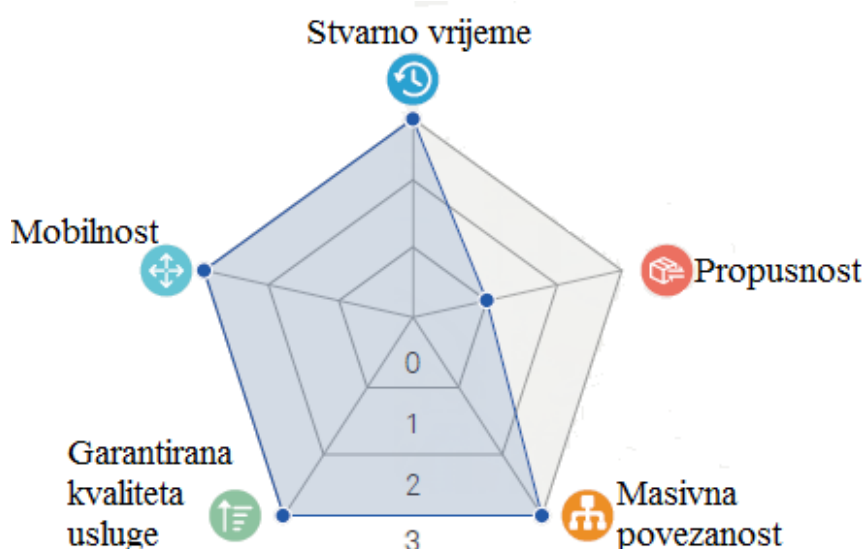
- Interoperabilnost: kibernetско-fizikalni proizvodni sustavi (radne podloge, mjesta za sastavljanje i proizvodnju) omogućuju ljudima i tvornicama da se povežu i komuniciraju jedni s drugima
- Virtualizacija: virtualna kopija pametne tvornice kreirana je povezivanjem podataka senzora s virtualnim modelom tvornice i simulacijskog modela
- Decentralizacija: sposobnost kibernetско-fizičkog sustava za donošenje vlastitih odluka i za lokalnu proizvodnju zahvaljujući tehnologijama kao što su 3D ispis

⁷ Vertikalna integracija sustava označava integraciju unutar sektora organizacije

⁸ Horizontalna integracija sustava označava integraciju kroz raznolike poslovne partnere i dobavne lance

- Spособnosti realnog vremena: sposobnost za prikupljanje i analizu podataka i neposredan uvid u iste
- Orijentiranost na usluge
- Modularnost: fleksibilna prilagodba pametnih tvornica zahtijevanim promjenama zamjenom ili proširenjem pojedinačnih modula

Glavni razlog razvoja aplikacije za automatizaciju industrije obuhvaća poteze prema razvoju lean proizvodnje⁹, digitalizaciji i većoj fleksibilnosti u proizvodnim procesima i samoj proizvodnji. Kako se primjećuje velika promjena uporabom IoT koncepta u industriji i veća proizvodna učinkovitost, sve veći broj proizvođača težiti će navedenom načinu proizvodnog procesa, što će u konačnici zahtijevati poboljšanja u mreži. Problem s kojim se još susreću proizvođači uporabom trenutnih bežičnih rješenja poput Wi-Fi tehnologija, Bluetooth-a i sl. su ograničenja u sigurnosti i nedovoljno pouzdana propusnost mreže što će 5G mreža omogućiti. Zahtjevi aplikacija za automatizaciju industrije prikazani su na slici 16. [16].



Slika 16: Zahtjevi aplikacija za automatizaciju industrije, [16]

Glavna karakteristika upotrebe IoT u Industriji 4.0 je značajno smanjenje troškova zbog korištenja senzora i pogona, što omogućuje povoljnu ali kvalitetnu pohranu, prijenos i obradu podataka. Senzori i pogoni ugrađeni u fizičkim objektima su međusobno povezani preko žičnih i bežičnih mreža. Mreže izbacuju velike količine podataka koje odlaze u računala na analizu, dok fizički objekti registriraju svoju okolinu i komuniciraju međusobno potpuno samostalno. Svi preduvjeti za IoT aplikacije su ispunjeni, interoperabilnost¹⁰ je omogućena posebno dizajniranim komunikacijskim protokolima namijenjenima za interakciju između strojeva, [30].

⁹ Lean proizvodnja označava proizvodnu filozofiju koja implementacijom skraćuje vrijeme od narudžbe kupca do isporuke gotovog proizvoda, eliminirajući sve izvore gubitaka u proizvodnom procesu

¹⁰ Interoperabilnost je sposobnost sustava ili proizvoda, čija su sučelja potpuno poznata, da međusobno djeluju i funkcioniraju s drugim proizvodima i sustavima, bez ikakvih ograničenja pristupa i implementacije

Integracija IoT i IoS u proizvodni proces uvodi 4 industrijsku evoluciju. Uspostaviti će se globalne mreže koje će obuhvaćati strojeve, te proizvodne i skladišne objekte u formu virtualno-fizičkog sustava (engl. *Cyber-Physical System* - CPS). Oni će biti sposobni samostalno komunicirati, međusobno se pokretati i kontrolirati, olakšavajući tako fundamentalna poboljšanja u dizajnu, proizvodnji, distribuciji i eksploataciji, [31].

Glavni dionici ekosustava industrije 4.0, prema, [31] su:

- Davatelji tehnologije – osiguravaju ključne proizvodne tehnologije kao što su strojevi, roboti, senzori i sl. (Siemens, Bosch, Fanuc, Kuka i dr.)
- Davatelji infrastrukture – osiguravaju pohranu za podršku za pohranu i obradu podataka, cloud infrastrukturu, itd. (SAP, T-Om i dr.)
- Industrijski korisnici – tradicionalne proizvodne firme koje koriste nove tehnologije kako bi optimizirali proizvodni proces ili proizvod (npr. Proizvođači vozila, kućanskih aparata, elektronike, namještaja i dr.)

Mnoge tvrtke za upravljanje energijom, na razvijenom tržištu ili tržištu u nastajanju, počinju se oslanjati na sustave automatizirane distribucije energije. Sustavi automatizirane distribucije energije su osobito značajni za integraciju obnovljivih izvora energije u klasičnu energetska mrežu. Kako bi sustav automatizirane distribucije energije bio učinkovit, veoma je bitno odvijanje komunikacije sa vrlo niskom latencijom, kao što će omogućavati 5G mreža.

Mobilni teleoperatori mogu odigrati komplementarnu ulogu energetskih tvrtki i tako ponuditi određeni mrežni dio namijenjen za dobavljače energije i njihove sustave automatizirane distribucije energije. Takav način posluživanja energije omogućuje obavljanje inteligentne analize podataka i reagiranje u stvarnom vremenu ukoliko je nastala abnormalna potrošnja, što u konačnici omogućuje bržu i preciznu kontrolu napajanja mreža. Kada se odvija komunikacija u mreži s latencijom manjom od 10 ms, iz kompletnog sustava automatizirane distribucije energije može se izdvojiti područje kvara unutar 100 ms, što će značajno smanjiti neučinkovitost elektrana, [16].

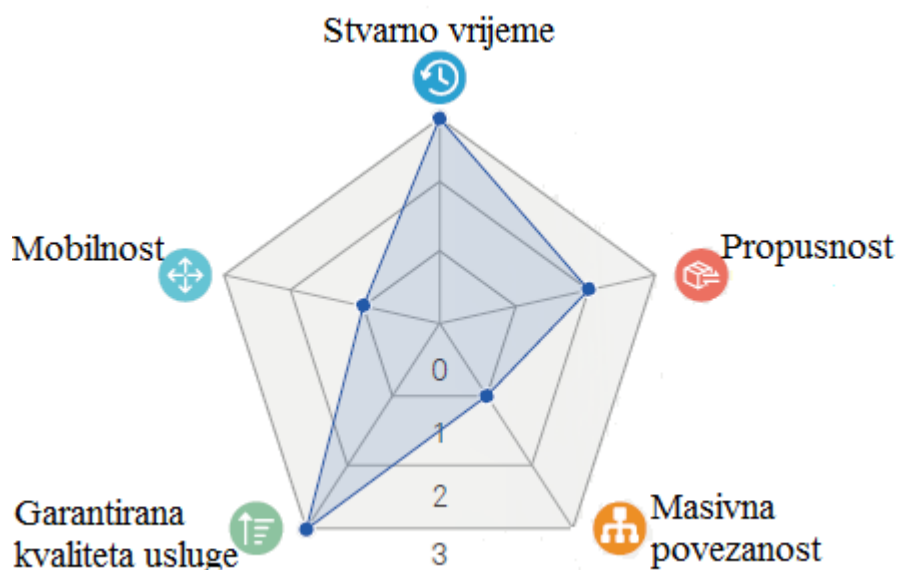
Primjeri IoT aplikacija vezanih uz industriju prema [19], su:

- Upravljanje i popravak - senzori postavljeni unutar industrijske opreme, javljati će korisniku aplikacije u slučaju dotrajalih dijelova ili kvara određenog dijela.
- Prestanak nagađanja - upotrebom kamera postavljenim u dućanima, korisnik aplikacije će znati dali trgovina posjeduje ono što želi ili ne, a vlasnik trgovine uvid u skladište i proizvode dostupne kupcima.
- Sigurnost na prvome mjestu - ova aplikacija javlja nadležnima ukoliko je aparat za gašenje blokiran, ne nalazi se na svome predviđenome mjestu ili je tlak unutar aparata prenizak. Obavijest može biti poslana e-mailom ili porukom na pametni telefon.

5.2.4 Aplikacije vezane uz zdravstvo

Koncepti mobilne aplikacije za zdravlje razvijani su tijekom mnogo godina te su neki postali široko upotrebljavani, poput aplikacija koje prate kronične bolesnike od problema sa mentalnim zdravljem do bolesnika sa dijabetesom. Dolaskom novih tehnologija, mobilna mreža će postati alat na temelju koje će se moći mapirati i simulirati bolesti za istraživanje javnog zdravstva kako bi se pomoglo u praćenju i podršci osobama kojima je briga izvan prostorija zdravstvenih ustanova važna. Smanjenjem latencije i povećanjem pouzdanosti mreže, otvaraju se mogućnosti za širu upotrebu postojećih aplikacija i njihova poboljšanja, [54].

Postotak svjetske populacije od 55 godina na više će se gotovo udvostručiti između 2000. i 2030. godine. Istraživanjem provedeno od strane Moody's Analytics, na temelju UN-ovih podataka, pokazalo je kako će neke zemlje poput Velike Britanije, Japana, Njemačke, Italije, Sjedinjenih Država i Francuske postati „*super aged*“ gdje 20 % ili više stanovnika ima 65 ili više godina pa se temeljem toga proteklih 5 godina sve više usvaja uvođenje medicinskih uređaja povezanih bežično na Internet. Stručnjaci povezani s zdravstvom počeli su integrirati rješenja kao što su daljinska audio/video dijagnoza, daljinski upravljana operacija i daljinsko praćenje zdravlja pomoću nosivih/prijenosnih uređaja. Kako bi navedena rješenja funkcionirala pravovremeno sa odgovarajućom kvalitetom usluge, potrebno je ispuniti zahtjeve aplikacija prikazane na slici 17, [16].



Slika 17: Zahtjevi aplikacije vezane uz zdravstvo, [16]

Daljinska dijagnoza poput bežične endoskopije i ultrazvuka ovise o interakciji između terminalnog uređaja i pacijenta. Osjetljivost na brzinu reakcije i povratnu informaciju uređaja, zahtjeva mrežu s niskom latencijom i vrlo visokom pouzdanošću.

Primjeri IoT aplikacija vezane uz zdravlje prema [19], su:

- Provjeri bebu - ova aplikacija će omogućavati pregled informacija o njihovom djetetu u realnom vremenu na pametnom telefonu. Pratiti će disanje djeteta, temperaturu kože, položaj tijela i aktivnost.

- Podsjetnik o uzimanju lijekova - bežičnim čipom, postavljenog na pakiranje lijeka, davatelj ove usluge obavještavati će korisnika lijekova o redovnom uzimanju, slanjem poruke na pametni telefon.
- Praćenje stupnja aktivnosti - koristeći vlastiti pametni telefon povezan na Internet mrežu i uporabom aplikacija koje koriste senzore za kretanje.

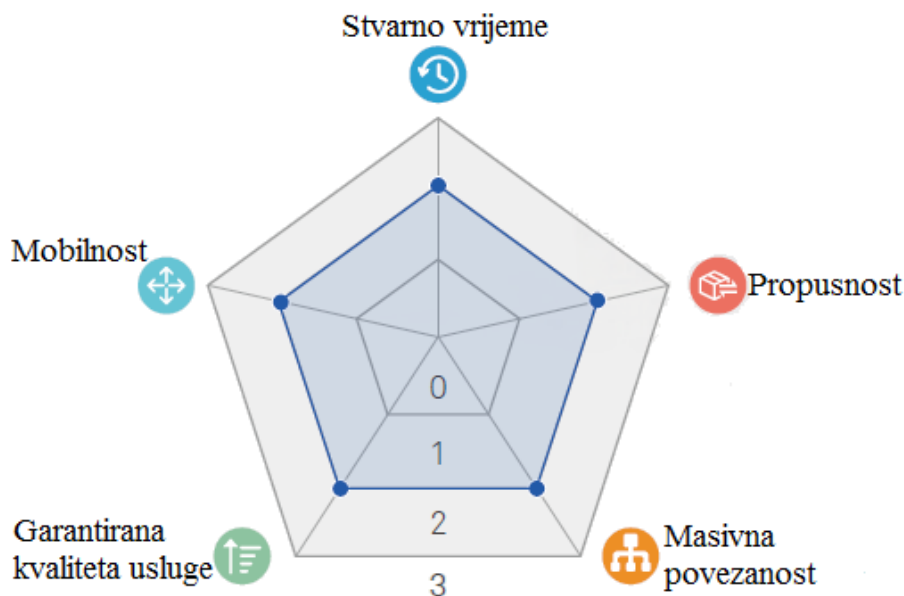
5.2.5 Aplikacije vezane uz pametne gradove

Pojam pametni grad koristi se za opisivanje mnogo različitih primjera, uključujući informacijsko-komunikacijske tehnologije, infrastrukturu te razvoj procesa automatizacije upotrebom umjetne inteligencije. U kompleksnijim primjerima pametnih gradova prikupljaju se podaci iz više domena, poput transporta, javne uprave, hitne službe, meteorološki podaci i sl. u jedan sustav, što može dovesti do boljeg planiranja i bržeg odgovora na promjene situacija. Pametni gradovi su općenito povezani s senzorskim mrežama kako bi omogućili podršku aplikacijama u raznim domenama poput upravljanja cestovnim prometom, pomoći pri pronalasku slobodnog parkirnog mjesta i sl, [54].

Pametni grad ima prednost po tome što može biti proaktivan, a ne reaktivan po potrebi svojih stanovnika i poslovnih aktivnosti u gradu. Da bi grad postao pametan, građanske ovlasti ne smiju investirati samo u senzore koji isključivo daju podatke o zagušenju u prometu i broju automobila na prometnicama, već je nužno investirati u sustav kamera koje mogu pratiti prometni tok, te nadgledati sigurnost grada istovremeno.

Gradski video nadzor je neprocjenjiv alat koji ne samo da povećava sigurnost, već i omogućava bolju iskoristivost resursa koji se nalaze u gradu, povećavajući tako produktivnost poduzeća i građanskih institucija. Zahtjevi aplikacija za gradski video nadzor prikazani su na slici 18. Prema, [16], sustav video nadzora neophodan je za praćenje:

- Vrlo prometnih javnih mjesta (Trgovi, škole, bolnice i sl.)
- Poslovnih područja (Banke, trgovački centri)
- Mjesta namijenjenih za prijevoz
- Važnih prometnih križanja
- Područja visoke stope kriminala
- Kritične infrastrukture (Telekom centri, benzinske postaje)



Slika 18: Zahtjevi aplikacije vezane uz pametni grad, [16]

Značajne inovacije sustava video kamera uključuju:

1. 4 megapikselne IP (engl. *Internet Protocol*) kamere koje trenutno dominiraju tržištem video nadzora, te 6mp i 8mp kamere s 4K rezolucijom slike koje će biti u uporabi dolaskom 5G mreže
2. Novi scenarij primjene kamera kao što su „*body-worn*”¹¹ kamere i kamere ugrađene unutar vozila koje su povezane na Internet mrežu i koriste se u slučaju hitnih intervencija za što brži dolazak javnih službi na mjesto događa nesreće

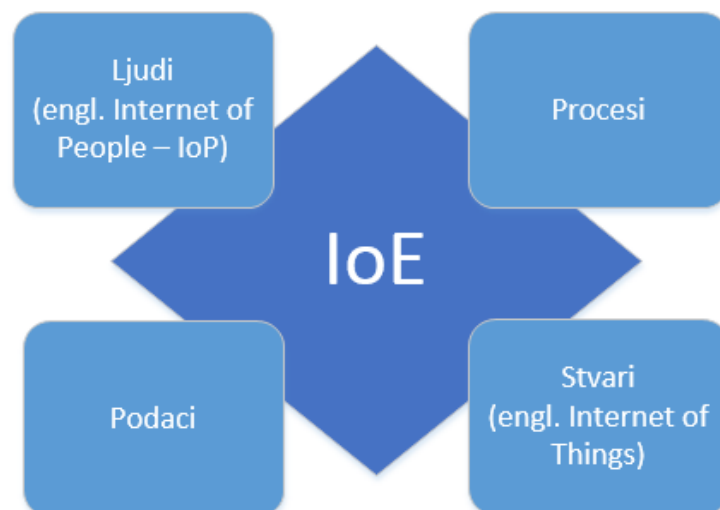
Primjeri IoT aplikacija vezane uz pametne gradove prema [19], su:

- Ulice održi čiste - aplikacije poput ove, upotrebom senzora u kantama za smeće, javljati će komunalnim službama kada se kanta treba isprazniti. Ova aplikacija drastično može smanjiti broj nepotrebnih vožnji i troškove svesti na minimum.
- Nalazak parkirnoga mjesta - senzorima postavljenim u gradske prometnice i uporabom pametnih telefona povezanih Internetom, aplikacija će nam u realnom vremenu prikazivati prazna parkirna mjesta u blizini.
- Efektivnije osvjjetljenje ulica - pametan sustav rasvjete, omogućiti će reguliranje razine svijetla gradske rasvjete ovisno o potrebama i vremenskim uvjetima. Upotrebom ove aplikacije, gradovi će moći uštedjeti do 30 % energije.

¹¹ Body worn kamere predstavljaju kamere integrirane u određeni objekt poput naočala, kaciga ili kao dio odjeće u svrhu povećanja sigurnosti osoba kojima je to potrebno

5.3 Internet svega

Internet svega (engl. *Internet of Everything* – IoE) uključuje povezanost ljudi, stvari, podataka, i procesa u jednu cjelinu, prikazanu na slici 19, preko mreže zasnovane na Internet protokolu. Istraživanjem obavljenog od strane Cisco System Inc. Corporation, 99,4 % fizičkih objekata koji će jednog dana biti dio IoE koncepta, trenutno nisu povezani ni u kojem smislu, pa tako nisu ni dio IoT (engl. *Internet of Things*) koncepta. Primarni razlog ne povezanosti objekata je što trenutno ne postoji takva usluga koja bi mogla toliku količinu informacija spojiti u cjelinu, [7].



Slika 19: IoE koncept
Izvor: [7]

Osnovni koncept Interneta svega je povezati sve uređaje koji rade neovisno jedni o drugima u jednu cjelinu, odnosno povezati različite tipove komunikacija poput M2M (engl. *Machine to Machine*), P2M (engl. *People to Machine*) i P2P (engl. *People to People*) u svrhu povezanosti svih uređaja sa ljudima i povezanosti svih uređaja sa ostalim uređajima. Primjena IoE koncepta biti će moguća svakome tko je povezan na Internet, a podaci će se obrađivati u stvarnom vremenu, [17].

- Povezanost ljudi u IoE - ljudi će biti u mogućnosti povezati se na Internet na puno više načina nego što je to danas moguće. U današnje vrijeme većina ljudi povezuje se na Internet pomoću svojih uređaja kao što su osobno računalo, tablet, pametni telefon i slično. Evolucijom Interneta, odnosno novom generacijom 5G i uporabom IoE koncepta, povezanost na Internet će biti stalna (npr. senzori postavljeni na koži ili u odjeći koju nosimo obrađivati će podatke i davati informacije o vitalnom stanju osobe)
- Povezanost podataka u IoE - stvari (objekti) povezani na Internet moći će slati podatke ili informacije višeg stupnja, odnosno donositi će odluke na temelju prethodnog stanja i sami odlučivati o sljedećem ishodu.
- Povezanost stvari u IoE - ova skupina se sastoji od fizičkih predmeta kao što su senzori, korisnički uređaji i slično. U IoE konceptu služiti će kao ispomoć ljudima i strojevima u donošenju važnih odluka (npr. pametni senzori postavljeni u građevinama ili senzori za jednokratnu upotrebu postavljeni u ambalažama za piće)

- Povezanost procesa u IoE - procesi imaju vrlo važnu ulogu u načinu kako ljudi, podaci i stvari (objekti) rade. Sa pravilnim procesom, povezanost dobiva na vrijednosti jer je informacija dostavljena pravoj osobi, u prihvatljivo vrijeme na najbolji mogući način, [17].

5.3.1 Internet ljudi

Pojam Internet ljudi (engl. *Internet of People* - IoP) obuhvaća osobnu elektroničku opremu sa pristupom Internetu i javlja se početkom 2000. godine pojavom mreže treće generacije. Pojam se ubrzano širi kako i raste broj korisnika mobilnih uređaja, tableta i ostalih terminalnih uređaja povezanih na mrežu. IoP je prvenstveno koncept osmišljen za dizajn, testiranje i implementaciju inovativnih strategija koje vode organizacije do potpuno nove paradigme. Organizacije će morati staviti ljude u centar inovacijskih strategija kao snaga kolektivne inteligencije. Više od samih pametnih aplikacija i gradova, prava vrijednost IoP koncepta leži u ljudima. Kao produkt IoP-a te zahvaljujući novim materijalima i načinima proizvodnje elektroničkih uređaja, sve su više prilagođeni čovjeku (npr. pametni satovi, Google naočale i sl.), [18].

5.3.2 Internet stvari

Mobilna mreža pete generacije omogućiti će kompletnu implementaciju IoT koncepta, od komunikacije između strojeva do same mrežne infrastrukture (preduvjet za masivnu komunikaciju između strojeva (engl. *Masive Machine Communication* – MMC)). Internet stvari je informacijsko komunikacijski koncept mreže, gdje su objekti (stvari) iz različitih okruženja povezani na mrežu zasnovanu na Internet protokolu. Ovaj koncept mreže čini osnovu k razvoju pametnog okruženja kao što su pametni domovi, ceste, tvornice, gradovi i slično. Kao rezultat, svi povezani objekti činiti će jedan zajednički ekosustav.

IoT spaja u jednu cjelinu podatke dobivene od određenog senzora sa aplikacijama vezanih uz analizu tih podataka ili poslovnih aplikacija u svrhu povećanja produktivnosti, proizvodnje i tržišta. Neki od glavnih izazova koji se stavljaju pred implementaciju IoT koncepta su sigurnost, privatnost i povjerenje te ograničeni kapaciteti mreže zbog potrebe za prijenosom vrlo velike količine podataka kako bi se osiguralo korisniku korisnu uslugu ili pristup informacijama, [7].

Primjeri aplikacija vezanih uz IoT, prema, [19], su:

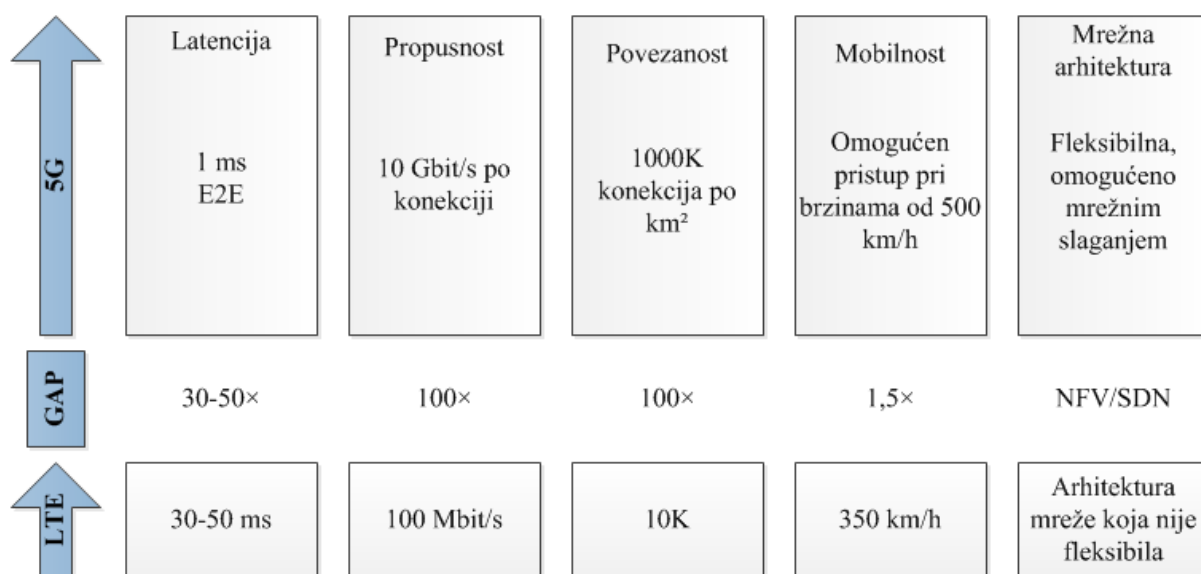
- Efikasno zagrijavanje doma - upotrebom pametnog termostata sa ugrađenim senzorom, praćenjem vremenske prognoze u realnom vremenu i stvarne aktivnosti provedene u kući, ova aplikacija uštediti će do 30 % energije na mjesečnoj upotrebi
- Budite sigurni da je pećnica ugašena - pametni uređaji dopustiti će trenutno uključivanje ili isključivanje svih uređaja uključenih na gradsku mrežu, sa bilo kojeg mjesta.
- Održi biljke na životu - uporabom senzora u blizini biljaka i povezanosti na Internet, ova aplikacija prati rast biljaka i savjetuje korisnika o hranjenju

6. Usporedna analiza – Case study

Očekivani slučajevi uporabe 5G mreže su raznoliki i obuhvaćaju sve industrijske grane. Zahtjevi za 5G mrežom dolaze iz raznolikih slučajeva uporabe 5G mreže koja će predstavljati glavnu platformu u pružanju usluga korisnicima. Prema, [34], očekivani slučajevi uporabe su:

- Širokopojasni Internet u gusto naseljenim područjima
- Širokopojasni pristup bilo gdje
- Povećana mobilnost korisnika (npr. superbrzi vlakovi)
- Masivni IoT (npr. umreženost senzora)
- Ekstremna stvarnovremena komunikacija (npr. autonomna vozila)
- Komunikacija u kriznim situacijama (npr. prirodne nepogode)
- Vrlo pouzdane komunikacije (npr. eZdravstvo)
- Usluge emitiranja (npr. emulacija¹² emitiranja signala)

Kako bi se omogućili navedeni slučajevi uporabe, ciljana propusnost mora iznositi više od 1 Gbit/s. Broj konekcija po kvadratnom kilometru u 5G mreži biti će 100 puta veći nego što je to slučaj u 4G mreži. 5G će omogućiti mobilnost pri brzinama od 500 km/h, latenciju nižu od 1 ms potrebno za komunikaciju autonomnih vozila, fleksibilnost za prijenos podataka nižih brzina, te visoku gustoću pokrivenosti signalom i masivni IoT koncept. Usporedba trenutnog stanja mreže i ciljeva koji se predstavljaju pred 5G mrežu, prikazani su na slici 20, [34].



Slika 20: Ciljevi 5G mreže

Izvor: [34]

¹² Emulacija je proces prilikom kojeg se jedan terminalni uređaj ili program u svim relevantnim aspektima ponaša kao neki drugi terminalni uređaj ili program

6.1 Razvoj korisničkih slučajeva i prateće tehnologije

Iako su brojni sektori gospodarstva započeli s brzim uvođenjem digitalnih tehnologija i postupaka, europska industrija morala bi u potpunosti iskoristiti prednosti digitalnih tehnologija u svim sektorima i neovisno o veličini trgovačkog društva kako bi bila konkurentna na globalnoj razini. U digitalnoj transformaciji osobito zaostaju tradicionalni sektori (kao što su građevinski, poljoprivredno-prehrambeni, tekstilni ili sektor čelika). Prema procjenama nedavnih studija, u sljedećih će pet godina digitalizacija proizvoda i usluga povećati godišnji prihod europskog industrijskog sektora za više od 110 milijardi eura, [56].

Jedinstveno digitalno tržište moralo bi omogućiti sigurnu i neometanu komunikaciju nebrojeno mnogo povezanih uređaja, uključujući mobilne terminalne uređaje, računala i senzore, neovisno o proizvođaču, tehničkim pojedinostima ili državi podrijetla. Za tu je komunikaciju potreban zajednički jezik, tj. zajedničke norme.

Europska komisija predlaže konkretne mjere za brže utvrđivanje normi: utvrđivanje pet prioriternih područja na koja bi se industrija i tijela nadležna za normizaciju trebala usmjeriti pri izradi normi: 5G, računalstvo u oblaku, Internet stvari, podatkovne tehnologije i kibernetička sigurnost te sufinanciranje eksperimentiranja i testiranja tehnologija za bržu uspostavu normi, uključujući u okviru relevantnih javno-privatnih partnerstava. Time će se osigurati pravodobno donošenje normi za poticanje inovacija i rasta poslovnih subjekata, [56].

Navedeni je pristup brži i usmjereniji te će se njime ubrzati razvoj i uvođenje tehnologija kao što su pametne mreže, usluge mobilnog zdravstva i povezana vozila te tehnologija iz drugih sektora. EU namjerava poduprijeti sudjelovanje europskih stručnjaka u donošenju odluka o normizaciji na međunarodno razini, kako bi se osiguralo da europske ideje pridonose rješenjima na globalnoj razini.

Pružanje potpunog doživljaja 5G mreže uključivati će poboljšanja mnogih postojećih korisničkih slučajeva i stvaranje novih koji ne mogu biti ispunjeni korištenjem trenutnih tehnologija, prema, [36], to će se postići:

- Implementacijom 5G NR radio pristupa kako bi se postigli kapaciteti koji su izvan dosega prijašnjih mobilnih generacija, a to uključuje veliki kapacitet sustava, veću brzinu prijenosa podataka, nisku latenciju, veoma visoku pouzdanost i pristupačnost, niže cijene terminalnih uređaja i nižu potrošnju energije te energetske učinkovitost mreže
- Omogućavanjem *roaminga* kroz mrežne slojeve do drugih mreža kako bi se omogućila globalna pokrivenost uslugama operatora ili korisnika *roaminga*
- Korištenjem distribuiranog *Clouda* kako bi se omogućilo približavanje radnih zadataka rubu mreže, što dovodi do bolje kvalitete usluge, učinkovitijeg prijenosa i većeg integriteta podataka.

- Učenjem strojeva u stvarnom vremenu i korištenjem umjetne inteligencije, kako analitika postaje važna za samoorganizirajuće mreže i obveze dostizanja željene razine kvalitete mreže

Od najveće važnosti za operatore biti će mogućnost poduzimanja tehnoloških koraka koji će naposljetku dovesti do potpunog doživljaja 5G mreže, i višestrukih novih slučajeva uporabe, a sve to uz niže troškove za operatore. Operatorima je nužna strategija implementacije 5G mreže koja balansira investicije, nove izvore prihoda i konkurentnost. Temeljem analiza provedenih u suradnji sa sveučilištima, ekonomskim stručnjacima i korisnicima, Ericsson je identificirao 5 važnih polja razvoja korisničkih slučajeva, što je omogućeno razvojem trenutne 4G mreže na putu do potpunog doživljaja 5G mreže, prikazano u tablici 7.

Tablica 7: Tehnologije razvoja korisničkih slučajeva

	Trenutno stanje	Na putu prema 5G	5G doživljaj
Poboljšani mobilni širokopojasni pristup	Ekrani posvuda	Nova tehnologija	Intrigantno iskustvo
Autonomnost	Informacije na zahtjev	Stvarnovremene informacije između vozila	Potpuna autonomna kontrola vozila
Proizvodnja	Automatizacija procesa	Daljinsko upravljanje	Robotika bazirana u oblaku i upravljanje na daljinu
Energija	Smart grid tehnologija	Upravljanje resursima i automatizacijom	Strojna inteligencija i stvarnovremeno upravljanje
Zdravstvena skrb	Povezanost pacijenata i doktora	Nadgledanje i propisivanje lijekova putem e-zdravstva	Daljinsko upravljanje
Tehnologije	Višestandardna mreža, Cat-M1/NB-IoT, Funkcije optimizirane u oblaku	Gigabit LTE, Masivni MIMO, Mrežno slaganje	5G NR, Virtualizirani radijski pristup mreži, Distribuirani oblak, Stvarnovremeno strojno učenje

Izvor: [36]

Ključna stvar na kojoj se temelji navedeni koncept jest da operator bira tehnologije i kako i kada će ih razvijati imajući u vidu potrebe poslovanja, a ne obrnuto. Kao primjer se navodi kako ima smisla razvoj i testiranje tržišta za nove masivne IoT usluge u postojećem 4G okruženju prije odluke kada, ili da li uopće, predstaviti poboljšane verzije postojećih usluga putem 5G pristupa.

6.2 5G za Europu – akcijski plan

Dvadeset i četiri godine nakon uvođenja mobilnih mreža 2G (GSM) u Europi, na vidiku je nova revolucija s novom generacijom mrežnih tehnologija - 5G, s kojom se otvaraju mogućnosti za nove digitalne gospodarske i poslovne modele. Uvođenje takve tehnologije nije jeftino, a prema usvojenom Akcijskom planu za pravodobno uvođenje tehnologija 5G u EU, u Europskom parlamentu vlade članica Europske unije trebaju pomoći kako bi olakšale ulaganja u sektor i omogućiti novi radiofrekvencijski pojas na vrijeme, [56].

Po mišljenju Europskog gospodarskog i socijalnog odbora (EGSO), smatra se da će ključni čimbenici u pokretanju 5G mreže biti uspjeh projekata koji se vode tijekom faze istraživanja u okviru javno - privatnih partnerstava za infrastrukturu 5G (5G-PPP) i integracija *fronthaul*¹³ i *backhaul*¹⁴ mreža za prijenos podataka putem malih ćelija visoke gustoće, heterogenih veza za prijenos podataka i procesora smještenih u oblaku koji se oslanja na više pružatelja Internet usluga [55].

U svim svojim mišljenjima EGSO je podržavao inicijative Europske komisije na području informacijsko-komunikacijskih tehnologija smatrajući ih preduvjetom za ostvarenje jedinstvenog digitalnog tržišta koje pokreće društveni i gospodarski razvoj EU-a. EGSO cijeni zalaganje Komisije za uvođenje 5G mreža i podržava korake koje ona poduzima od faze istraživanja.

Standardizacija tehničkih specifikacija potrebnih za opremu, aparate i mreže najvažnije je pitanje za relevantna poduzeća i međunarodne udruge koje rade na tom području. Specifikacije sadrže upute koje omogućavaju testiranje i odobravanje važnih tehničkih komponenti 5G tehnologije. Razrada specifikacija industrijskim partnerima, dobavljačima komponenti i mreža te operatorima daje priliku da razviju interoperabilna rješenja i time doprinesu postupku koji prethodi standardizaciji. ITU, 3GPP i drugi organi za standardizaciju postavili su 2020. godinu kao rok do kojeg treba utvrditi standarde za 5G, dok su pružatelji mobilnih telefonskih usluga pojačali svoje napore kako bi pružili najkonkurentnije moguće usluge u 5G mreži, [55].

S obzirom na velike troškove uvođenja novih tehnologija, EGSO ističe da potrebe ulaganja u EU-u daleko nadmašuju iznos ulaganja predviđenih u okviru javno-privatnog partnerstva u kojem sudjeluje Europska komisija (4,2 milijarde EUR). EGSO smatra da mjere koje predlaže Europska komisija mogu podržati financijske, ljudske i tehničke napore pod uvjetom da usredotočenost na to pitanje bude stalna, da se uspostavi okvir za poticanje privatnih ulaganja i da naponi koje bude poduzimala Europska komisija i države članice budu u potpunosti usklađeni.

¹³ Fronthaul predstavlja naziv za bežični dio mreže 5G standarda

¹⁴ Backhaul predstavlja naziv za dio mreže koje se većinom sastoji od svjetlovodnih vlakana

Ciljevi Europske komisije povezani s uvođenjem prvih mreža 5G do kraja 2018. godine i, nakon toga, uvođenjem komercijalnih usluga 5G u Europi do kraja 2020. godine uglavnom ovise o rezultatima projekata 5G-PPP ostvarenih u fazi istraživanja. Među njima se nalazi ključni projekt 5GXCrosshaul, čiji je cilj da za potrebe prijenosa podataka integrira *fronthaul* mreže i *backhaul* mreže. Potrebno je uvesti bazne stanice za prijenos visokog frekvencijskog spektra, heterogene veze za prijenos podataka, procesore smještene u oblaku (mini centre podataka) i mjesta pristupa na osnovnim mrežama jednog ili više pružatelja Internet usluga, [55].

Budući da su frekvencije koje se koriste za tehnologiju 3G i 4G preopterećene, rješavanje tehničkih problema u vezi s frekvencijama i širinom pojasa za 5G od globalne je važnosti. Osim suradnje s državama članicama, Europska komisija trebala bi voditi računa i o mjerama koje su relevantna tijela već poduzela na međunarodnoj razini. Za potrebe tehnologije 5G, ITU i 3GPP, usvojili su plan u dvije etape: prva faza je istraživanje, a druga opsežni razvoj.

Zbog početnog kašnjenja s uvođenjem 4G tehnologija u Europi 2015. godine pristup tehnologijama 4G/LTE imalo je više od 75% građana SAD-a, u usporedbi sa samo 28% građana EU. Iako se jaz postupno smanjuje, i dalje postoje znatne razlike među državama članicama. Razlike su tolike da je u samo 4 članice EU prosječna brzina Interneta ispod 10 Mbit/s, dok je u svim ostalim zemljama brzina Interneta značajno veća, iznad 20, 30, 40 pa čak i 50 Mbit/s, [56].

U najlošijoj poziciji, prema podacima indexa DESI, nalazi se Hrvatska, gdje je prosječna brzina prijenosa podataka tek 7,30 Mbit/s. U najlošije članice spadaju još Italija (8,73 Mbit/s), Grčka 8,87 Mbit/s) i Malta (9,85 Mbit/s). To znači da će Hrvatskoj za izgradnju infrastrukture za 5G mrežu trebati značajna novčana sredstva, [56].

Cilj EU-a da do 2025. godine osigura pokrivenost mrežama 5G svih gradskih područja i glavnih prometnih pravaca u svim zemljama članicama bit će teško postići. EGSO ukazuje na činjenicu da je vrlo rizično najavljivati ostvarenje ambicioznih ciljeva u kratkim rokovima. Analiza uvođenja pristupnih mreža nove generacije (NGN) i provedbe politika namijenjenih smanjenju digitalnog jaza pokazuje da su bijele i sive zone, opisane u smjernicama za širokopojasne mreže, još i veće, [55].

U usporedbi s Južnom Korejom, Sjedinjenim Američkim Državama i Japanom, u Europi je migracija s mreža 3G na mreže 4G i dalje ograničena. Možda će se operateri, pa čak i korisnici, opredijeliti za mreže 4G, tim više što će se one nastaviti razvijati neovisno o mrežama 5G, kako bi sve tehnologije koje sačinjavaju 4G sljedećih godina operaterima mogle ostvariti velike koristi uz znatno manje troškove u odnosu na one povezane s razvojem nove tehnologije.

Budući da se diljem svijeta ulažu veliki istraživački naponi, od ključnog je značenja spriječiti pojavu neusklađenih standarda za 5G tehnologije u različitim regijama. Ako Europa želi pridonijeti postizanju globalnog konsenzusa u pogledu izbora tehnologija, frekvencijskih pojasa i vodećih 5G aplikacija, potrebna je koordinacija na razini EU i prekogranično planiranje.

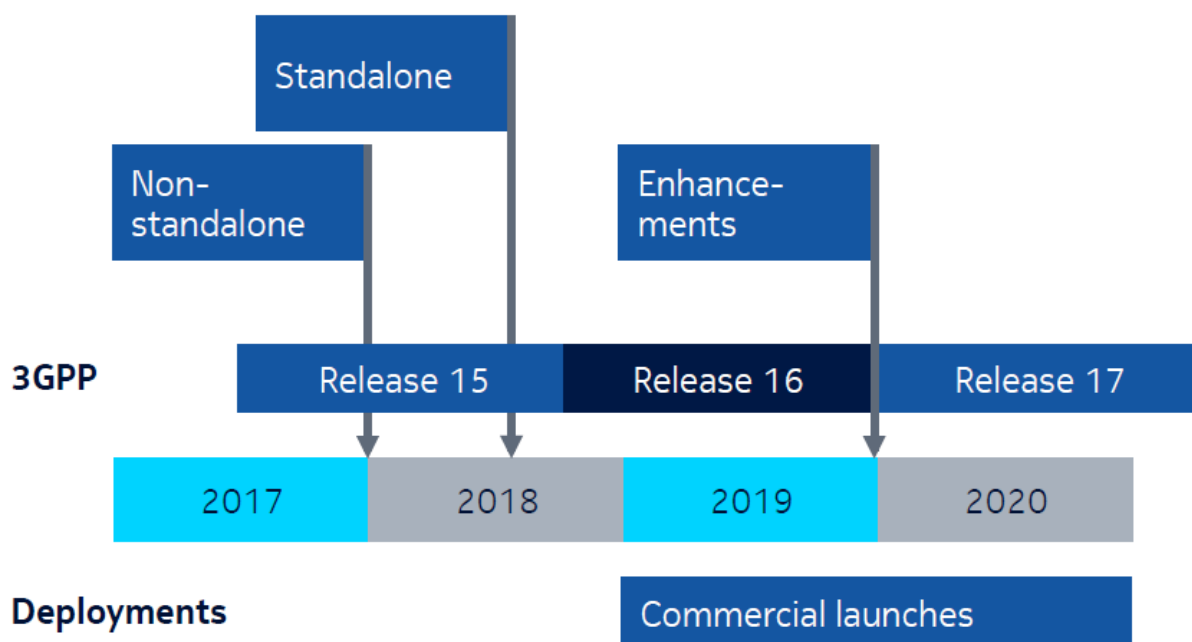
Za uvođenje komercijalnih 5G usluga bit će potrebna i znatna ulaganja, raspoloživost odgovarajućeg spektra i bliska suradnja sudionika u telekomunikacijskom sektoru i ključnih korisničkih industrija. Mrežni operatori neće ulagati u novu infrastrukturu ako ne vide jasne izgleda za stabilnu potražnju i ako im se ne omoguće regulatorni uvjeti za isplativo ulaganje. Isto tako, industrijski sektori zainteresirani za digitalizaciju pomoću tehnologija 5G možda će pričekati dok 5G tehnologije ne budu testirane i spremne za uporabu, [56].

6.3 Početak komercijalne uporabe 5G mreže

Finska je prva država koja je započela komercijalnu uporabu 5G mreže, a predvoditelj projekta je operator Elisa koja je počela s prodajom pretplatničkih paketa. Prva osoba koja je koristila 5G mrežu je ministrica transporta i komunikacije Finske, koja je ostvarila videopoziv putem 5G mreže. Ono što Finsku čini predvodnicom na polju 5G mreža jesu naponi ministarstva komunikacija koje za cilj ima do jeseni 2018. godine dodijeliti prve 5G licence u frekvencijskom spektru od 3400 do 3800 MHz, [35].

Ovim razvojem Finska namjerava dostići novu razinu upotrebe aplikacija u područjima kao što su transport, zdravstveni sustav, poboljšanja energetske učinkovitosti i zabave. Uz pomoć 5G usluga, korisnicima, kao i pružateljima usluga biti će dodane nove vrijednosti kako nove aplikacije budu korištene učinkovitije i kako bude omogućen razvoj novih aplikacija. Kao primjer navedenog, spominje se mogućnost visokokvalitetnog emitiranja nogometne utakmice svim gledateljima uživo bez kašnjenja signala na bilo koji terminalni uređaj.

Elisa 5G mrežom nastoji omogućiti simultano spajanje velikog broja različitih terminalnih uređaja na mrežu. Navedeno će u budućnosti kompanijama pružiti nove poslovne prilike kao što su razvojna rješenja povezana sa IoT konceptom. Elisa testira tehnologije i aplikacije prije komercijalne uporabe koje će biti korištene u 5G mreži te ažuriraju svoje mreže kako bi bile spremne za ostvarivanje punog potencijala 5G mreže. Na slici 21 prikazane su standardizacijske aktivnosti vezene uz 5G mrežu po 3GPP standardu, [35].



Slika 21: 5G standardizacijski plan po 3GPP standardu, [41]

Austrijski grad Innsbruck će biti prvi u toj zemlji i jedan od prvih gradova u Europi s 5G mrežom pokrivajući tako cijelo područje grada signalom. Trenutno se ostvaruje brzina prijenosa podataka od 2 Gbit/s uz latenciju od samo 3 ms, što znači da su temelji za dolazak nove tehnologije omogućeni. Signal omogućava teleoperator T-Mobile uz korištenje frekvencijskog opsega od 3,7 GHz. Izgradnju optičke infrastrukture grada omogućio je Huawei s kojom se udružuju sve veće kompanije u Innsbrucku. T-Mobile, grad Innsbruck odabrao je za testiranje mobilne mreže 2009. godine, kada se testirala i uspješno implementirala LTE tehnologija te je stoga Innsbruck postao prvi grad u Europi prekriven LTE signalom, [42].

Kako se lansiranje 5G usluga sve više približava Ericsson i Intel, uz AT&T i T-Mobile, potvrđuju snagu 5G ekosustava. Partneri su uspješno demonstrirali nesamostalni (engl. *Non-Standalone* - NSA) 5G NR interoperabilnost korištenjem 39 GHz spektra – frekvencijskog pojasa na kojem će 5G usluge biti uvedene u Sjevernoj Americi. Tako je uspješno uspostavljen prvi javni 5G NR podatkovni poziv na 39 GHz mmWave frekvencijskom pojasu. U demonstraciji rada korišteni su komercijalno dostupni proizvodi: Ericsson Radio System AIR 5331 i Intel 5G Mobile Trial Platform. Uspješni testovi interoperabilnosti značajan su korak za korištenje komercijalnih 5G uređaja i osiguravaju spremnost mreže i ekosustava, [57].

Krajem 2017. godine uz suglasnost Hrvatske regulatorne agencije za mrežne djelatnosti, Vipnet (danas A1 Hrvatska), dobio je privremenu dozvolu za korištenje frekvencijskog spektra na 3,5 GHz na području grada Jastrebarskog. Obavljena su testiranja novih tehnologija koje prethode uvođenju 5G mreža i ostavrene su brzine prijenosa podataka od 700 Mbit/s. Testiranja su provedena na TDD (engl. *Time Division Duplex*) načinu

prijenosa podataka koji će u velikoj većini slučajeva biti korišten i nakon implementacije 5G tehnologije, [58].

U početku 2018. godine Nokia je potpisala petogodišnji sporazum s teleoperaterom Tele2 kako bi zajedničkim snagama radili na rješenjima za IoT, što uključuje i implementaciju 5G mobilne mreže. Kako bi implementacija mreže bila moguća, Tele2 je primoran investirati u infrastrukturu mreže, dok Nokia mora omogućiti veći dio 5G koncepta, [59].

Početkom 2018. godine Hrvatski Telekom (HT) pokrenuo je modernizaciju radijske pristupne mreže te će ta mreža omogućiti uvođenje 5G tehnologije u trenutku kad se za nju dodijeli potrebni frekvencijski spektar. Projekt obuhvaća modernizaciju infrastrukture, transportnih kapaciteta i same radijske opreme te radijske pristupne mreže na području cijele Hrvatske u razdoblju do 2019. godine.

Prvi korak je već ostvaren u prvoj polovici 2018. godine, gdje je HT zamijenio svih 137 starih s novim, 5G kompatibilnim baznim postajama na području Istre. Od početka srpnja 2018. aktivnosti su nastavljene na području grada Zagreba. Uvode se bazne postaje SRAN (engl. *Single Radio Access Network*) koncepta, kojim se osigurava koegzistencija 2G, 3G, 4G i 5G na istoj opremi, što omogućuje trenutno udvostručenje kapaciteta 4G mreže i najnovije funkcionalnosti poput IoT koncepta.

Uvođenjem LTE Advanced PRO, inačice 4G mreže, napravljen je značajan iskorak koji omogućava postepenu prenamjenu dostupnog frekvencijskog spektra za 4G, istovremeno koristeći najsuvremenije 5G algoritme poput 4×4 MIMO antenske konfiguracije, kombiniranja četiri frekvencijska bloka (engl. $4 \times$ *Carrier Aggregation*) i najviših modulacijskih shema, osiguravajući pritom propusnost do 830 Mbit/s na silaznoj podatkovnoj 4G vezi, [39].

Uz učinjeno, nova radijska oprema realizira se u bez-kabelskom (engl. *feederless*) načinu, kojim se potpuno dokidaju duge kabelske trase i njihovi gubici te optički prijenos vodi do antene, gdje su smještena i radijska pojačala. Na ovaj način nova oprema osigurava bolju 3G i 4G pokrivenost signalom, uz značajno manju potrošnju električne energije. Postavljanje nove opreme osigurava manje opterećenje infrastrukture na koju je postavljena zbog vlastitih manjih dimenzija.

Navedenim aktivnostima Hrvatskog Telekom, osigurava se spremnost 5G nove radijske tehnologije, koja je temelj za sljedeću generaciju komunikacijskih mreža koja podrazumijeva cijeli ekosustav. 5G će promijeniti živote ljudi u cjelini isporukom mobilnog širokopojasnog pristupa velikih brzina prijenosa podataka, robusne povezanosti sa niskom latencijom te umrežavanjem milijuna uređaja u masivni IoT, [39].

7. Zaključak

Arhitektura 5G mreže drastično će se promijeniti u usporedbi sa prijašnjim generacijama, u cilju postizanja željenih performansi, osobito smanjenja vremena kašnjenja i pouzdanosti te podršci novim poslovnim modelima. 3GPP standardizira niz različitih 5G rješenja temeljenih na tome da li se pristup na 5G mrežu odvija samostalno (engl. *5G Standalone*) ili se paralelno kombinira s LTE pristupnom mrežom (engl. *Non-Standalone*) pomoću tehnologije višestrukog pristupa – dvojna povezanost (engl. *Multi-Radio Access Technology – Dual Connectivity*). Samostalna opcija 5G mrežne arhitekture ima prednost mogućnosti jednostavne implementacije mreže, slično načinu kako je 4G LTE mreža bila implementirana preko 3G mreža. S druge strane, nesamostalna opcija 5G mrežne arhitekture može koristiti postojeća LTE rješenja i ubrzati proces implementacije 5G sustava.

Usporedno s prijašnjim generacijama 3GPP 5G arhitektura sustava je temeljena na uslugama, što znači da gdje god su elementi arhitekture prikladni, definirani su kao mrežne funkcije koje nude usluge putem sučelja zajedničkog okvira. Arhitektura temeljena na uslugama, zajedno sa softverskom komponentom i virtualizacijom sustava, pruža agilnost koja omogućuje operatoru brzo rješavanje korisničkih zahtjeva. Nadalje, operator može imati koristi od primjene virtualizacije i upravljanja infrastrukturom tako što razvije i implementira personaliziran mrežni dio za određenu vrstu korisnika prema dobivenim zahtjevima. 5G je koncept mreže gdje personalizacija susreće povezanost i novu tehnologiju i sve povezuje u jednu cjelinu, što rezultira tehnologiji poput MTC (engl. *Machine Type Communication*) komunikaciji, efikasnijom uporabom frekvencijskog spektra, povećanju sigurnosti i privatnosti mreže, računarstvu u oblaku, smanjenju potrošnje energije i ostalim mogućnostima.

Ključna značajka arhitekture 5G sustava je slaganje mreže. Prethodna generacija omogućila je određene aspekte ove funkcionalnosti za namjenske jezgrene mreže, ali u usporedbi s novim, 5G mrežno slaganje (engl. *Network slicing*) je puno snažniji koncept koji uključuje kompletnu javnu zemaljsku mobilnu mrežu (engl. *Public Land Mobile Network - PLMN*). Mrežno slaganje omogućava operatoru implementaciju višestrukih, nezavisnih PLMN mreža, gdje je svaka prilagođena prema različitim zahtjevima korisnika, pružajući tako mogućnosti i usluge korisnicima prema njihovim potrebama.

Prvi, javno dostupni, 5G terminalni uređaji očekuju se od 2019. godine. Do navedene godine očekuje se kako će IoT koncept primarno biti pogonjen globalnom dostupnošću uređaja i niskim cijenama istih. Međutim, kako se terminalni uređaji s podrškom za 5G pojavljuju na tržištu, u skladu s tim će se povećavati i generiranje 5G podatkovnog prometa. Uz značajno povećanje mrežnog prometa, 5G uređaji će omogućiti ekonomičnu mrežnu funkcionalnost kako bi pomogli operatorima u upravljanju navedenim povećanjem prometa.

Kako bi se omogućio dovoljno širok raspon različitih usluga, kontinuiran i dugoročni razvoj mreže je vrlo bitan. Usporedno s tim možemo primijetiti kontinuiran razvoj aplikacija koje koristimo svakodnevno. Mnoge usluge mogu se pružiti korisnicima preko oblaka kako bi

se smanjili troškovi, te omogućili bolju i lakšu povezanost između poslužiteljskih platformi. Mobilna mreža pete generacije omogućiti će kompletnu implementaciju IoT koncepta, od komunikacije između strojeva do same mrežne infrastrukture (preduvjet za masivnu komunikaciju između strojeva – MMC).

Oba pristupa implementacije 5G mreže, samostalni i nesamostalni, podržavati će pružanje usluga u mreži. Usluge zahtjevne niskom latencijom poput ultra pouzdane komunikacije s niskom latencijom - URLCC biti će omogućene u svim opcijama mrežne arhitekture 5G mreže. Međutim, u pružanju usluga s niskom latencijom vjerojatnije je kako će samostalna opcija mrežne arhitekture sustava ponuditi korisnicima niže latencije i veću kvalitetu usluge od nesamostalne opcije arhitekture. Proces redizajna mrežne arhitekture na slojeve omogućiti će korisnicima 5G mreže pristup personalizaciji korisničkih slučajeva. Pristup će se temeljiti na digitalnom modeliranju i intuitivnom dizajnu uz pomoć teleoperatora.

Aplikacije razvijane za 5G mrežu su vrlo raznolike i imaju različite zahtjeve mreže, posebno vezano uz visinu dopuštene latencije, visinu vršnog prijenosa podataka, gustoće povezanosti terminalnih uređaja i napajanje uređaja. Kako bi se ostvario puni potencijal 5G mreže, morati će se zadovoljiti različiti zahtjevi na način kako mreža dodjeljuje određene resurse različitim aplikacijama. 5G mreža osmišljena je za stvaranje potpuno povezanog svijeta, u kojem su generirani podaci kontekstualizirani, konstruirani i obrađeni preko oblaka uz konstantno stvaranje novih vrijednosti. Povezana vozila, pametna proizvodnja, globalna logistička praćenja, pametna poljoprivreda, pametno mjerenje i druge su jedne od prvih aplikacija i one koje najviše obećavaju u području IoT koncepta.

Budući da su frekvencije koje se koriste za tehnologiju 3G i 4G preopterećene, rješavanje tehničkih problema u vezi s frekvencijama i širinom pojasa za 5G od globalne je važnosti. Za uvođenje komercijalnih 5G usluga bit će potrebna i znatna ulaganja, raspoloživost odgovarajućeg spektra i bliska suradnja sudionika u telekomunikacijskom sektoru i ključnih korisničkih industrija.

Finska je prva država koja je započela komercijalnu uporabu 5G mreže, a predvoditelj projekta je operator Elisa. Ono što Finsku čini predvodnicom na polju 5G mreža jesu naponi ministarstva komunikacija koje za cilj ima do jeseni 2018. godine dodijeliti prve 5G licence u frekvencijskom spektru od 3400 do 3800 MHz. Ovim razvojem Finska namjerava dostići novu razinu upotrebe aplikacija u područjima kao što su transport, zdravstveni sustav, poboljšanja energetske učinkovitosti i zabave. Uz pomoć 5G usluga, korisnicima, kao i pružateljima usluga biti će dodane nove vrijednosti kako nove aplikacije budu korištene učinkovitije i kako bude omogućen razvoj novih aplikacija.

Literatura

- [1] The 5G Infrastructure Public Private Partnership (5G PPP): The next generation of communication networks and services – 5G Vision
- [2] Rodriguez,J: Fundamentals of 5G mobile networks, John Wiley & Sons, West Sussex, The UK, 2015.
- [3] Quoc Ngo H: Massive MIMO: Fundamentals and System Designs, Linköping, 2015. Preuzeto sa: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf> (travanj 2018.)
- [4] Prasad,R: 5G:2020 and beyond, River Publishers, Aalborg, 2014.
- [5] Husnjak, S., Peraković, D.: Ekosustav tržišta informacijsko-komunikacijskih usluga. Dostupno s: https://moodle.srce.hr/20172018/pluginfile.php/1487032/mod_resource/content/1/5_Ekosustav_tr%C5%BEi%C5%A1ta_informacijsko_komunikacijskih_usluga_2017_18.pdf (travanj 2018.)
- [6] Pavlić M.: Do 2023. godine 1 milijardu korisnika 5G mreža, 2017. Dostupno s: <https://www.bug.hr/mreze/do-2023-godine-1-milijardu-korisnika-5g-mreza-1046> (travanj 2018.)
- [7] Jovović, I., Forenbacher I., Periša M: Masive Machine-Type Communications: An Overview and Perspectives Towards 5G, 2015.
- [8] Warren, D., Calum, D: Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile, GSMA Intelligence, 2014. Dostupno s: <https://gsmaintelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download> (travanj 2018.)
- [9] Ericsson: 5G Deployment Considerations, Stockholm, 2018. Dostupno s: <https://www.ericsson.com/en/networks/trending/insights-and-reports/5g-deployment-considerations>
- [10] Ericsson, Zagreb, 2015: Ericsson radi na standardizaciji 5G sustava. Dostupno s: <http://www.itbizcrunch.com/index.php/objave/item/830-ericsson-radi-na-standardizaciji-5g-sustava> (travanj 2018.)
- [11] Tomić, D.: Ubrzani razvoj 5G mreža. Dostupno s: <http://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/ubrzani-razvoj-5g-mreza> (travanj 2018.)
- [12] Ericsson: The 5G consumer business case; An economic study of enhanced mobile broadband, Stockholm, 2018. Dostupno s: <https://www.ericsson.com/assets/local/narratives/networks/documents/report-eab-18000943-rev-a-uen.pdf> (svibanj 2018.)

- [13] Triggs R.: 5G vs Gigabit LTE: the differences explained, 2018. Dostupno s: <https://www.androidauthority.com/5g-vs-gigabit-lte-843341/> (lipanj 2018.)
- [14] Sauter, M.: From GSM to LTE-Advanced, John Wiley & Sons, West Sussex, The UK, 2014.
- [15] Triggs, R.: South Korea's KT launches 1.17Gbps GiGA LTE. Dostupno s: <http://www.androidauthority.com/kt-launches-1gbps-giga-lte-617147/> (lipanj 2018.)
- [16] Huawei Technologies: 5G unlocks a world of opportunities, 2017. Dostupno s: <http://www.huawei.com/en/industry-insights/outlook/mbb-2020/trends-insights/5g-unlocks-a-world-of-opportunities>
- [17] Mitchell, S., Villa, N., Weeks, M.S., Lange A: The Internet of Everything for Cities, Cisco, 2013. Dostupno s: http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/IoE/IoE-AAG.pdf (lipanj 2018.)
- [18] Harrop P., Das R: Internet of People: Technology 2015 – 2025, 2014. Dostupno s: <http://www.idtechex.com/research/reports/internet-of-people-technology-2015-2025-000388.asp> (lipanj 2018.)
- [19] Argerich, L.: An Internet of Things. Dostupno s: <http://postscapes.com/internet-of-things-examples/> (lipanj 2018.)
- [20] M. Agiwal, A. Roy, N. Saxena: Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials
- [21] Šikić M.: Modeli naplate sadržaja u mobilnim paketskim mrežama. Dostupno s: https://bib.irb.hr/datoteka/144854.Modeli_naplate_sadrzaja_2002_3.pdf (srpanj 2018.)
- [22] Stamenković S: Heterogene mobilne mreže. Dostupno s: <http://telekomsvet.blogspot.hr/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html> (srpanj 2018.)
- [23] Popović, Ž., Čačković, V., Burjan, D: Arhitektura mreže za M2M komunikacije, Tesla, Zagreb, 2012. Dostupno s: http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2012/01.pdf (srpanj 2018.)
- [24] Burazer, B.: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije Dostupno s: <http://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EISBudu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf> (srpanj 2018.)
- [25] GSMA Intelligence: Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile, Dostupno s: <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download> (srpanj 2018.)
- [26] Ericsson: 5G systems, Dostupno s: <https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/what-is-a-5gsystem.pdf> (srpanj 2018.)

- [27] Son, H. J., Do, M. M.: 5G Network as Envisioned by KT: Analysis of KT's 5G Network Architecture, Korea Communication Review, str. 31-34
- [28] Lodder, J.: Četvrta industrijska revolucija i obrazovni sustav - kako reagirati, Poslovni savjetnik, 2016
- [29] Smit, J.: Industry 4.0, European Union, 2016
- [30] McKinsey & Company: Industry 4.0, How to navigate digitization of the manufacturing sector, McKinsey Digital, 2015
- [31] Petrić J.: Industrija 4.0, Zagreb, 2015.
Dostupno s: http://titan.fsb.hr/~jpetric/Predavanja/Industrija%204_0.pdf (srpanj 2018.)
- [32] ICT Business: S 5G u nova područja, 2018.
Dostupno s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/s-5g-u-nova-podrucja> (srpanj 2018.)
- [33] EverythingRF: 5G Frequency Bands, 2018.
Dostupno s: <https://www.everythingrf.com/community/5g-frequency-bands> (srpanj 2018.)
- [34] Azimuth: Improving 4G Wireless Broadband Product Design through Effective Channel Emulation Testing, 2008.
Dostupno s: file:///C:/Users/Toshiba2/Downloads/azimuth_wireless%20.pdf (srpanj 2018.)
- [35] Elisa first in world to launch commercial 5G, 2018. Dostupno s: <http://corporate.elisa.com/news-room/press-releases/elisa-press-release/?id=74816483692765&tag=corporate.elisa.com%3Apress> (kolovoz 2018.)
- [36] Ericsson: 5G deployment considerations, 2018.
Dostupno s: <https://www.ericsson.com/assets/local/narratives/networks/documents/5g-deployment-considerations.pdf> (rujan 2018.)
- [37] Haler K.: Poslovna primjena virtualne i proširene stvarnosti, 2018. Dostupno s: <https://repozitorij.vup.hr/islandora/object/vup%3A912/datastream/PDF/view> (rujan 2018.)
- [38] Lukšić I.: Koncept kooperativnog prikupljanja podataka u području putnog informiranja, Zagreb, 2017.
Dostupno s: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz%3A1211/datastream/PDF/view> (rujan 2018.)
- [39] Tomić D.: Modernizacija Mobilne mreže preduvjet dolaska 5G mreže, 2018. Dostupno s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/modernizacija-mobilne-mreze-preduvjet-dolaska-5g-mreze> (rujan 2018.)
- [40] Mademann F.: The 5G System Architecture, Huawei Technologies, Njemačka, 2018.
Dostupno s: https://www.riverpublishers.com/journal_read_html_article.php?j=JICTS/6/2/5 (rujan 2018.)
- [41] Nokia: 5G new radio network, Finska, 2018.
Dostupno s: <https://onestore.nokia.com/asset/205407> (rujan 2018.)

- [42] Deželić V., Tomić D.: Austrijski grad Innsbruck prvi u zemlji prekriven 5G signalom, 2018. Dostupno s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/austrijski-grad-innsbruck-prvi-u-zemlji-pokriven-5g-signalom> (listopad 2018.)
- [43] T. Taleb, K. Samdanis, B. Mada, H. Flinck, S. Dutta and D. Sabella.: On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Edge Cloud Architecture and Orchestration in IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017. Dostupno s: <http://www.techtrained.com/how-network-slicing-and-multi-access-edge-computing-be-visualized/> (listopad 2018.)
- [44] Deželić V., Tomić D.: MWC 2018: Ericsson i Swisscom demonstrirali network slicing za 4G i 5G mreže, 2018. Dostupno s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/mwc-2018-ericsson-i-swisscom-demonstrirali-network-slicing-za-4g-i-5g-mreze> (listopad 2018.)
- [45] Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle: 5G spreman za korištenje, 2018. Dostupno s: https://www.ericsson.hr/documents/20181/131384/5G_spreman.pdf/b91ada4d-ed5e-47e4-a9fa-d5336845c070 (listopad 2018.)
- [46] Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle: Spremni za 5G: Ericsson zaokružio 5G platformu za operatore, 2018. Dostupno s: <https://www.ericsson.hr/20180212-5g-platforma> (listopad 2018.)
- [47] Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle: Kako uspješno uvesti 5G usluge, 2018. Dostupno s: <https://www.ericsson.hr/20180702-5g-usluge> (studeni 2018.)
- [48] Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle: MWC 2018: 5G spreman za poslovanje, 2018. Dostupno s: <https://www.ericsson.hr/20180228-mwc-hr> (studeni 2018.)
- [49] Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle: Lista korisničkih želja za 5G – plan aktivnosti za operatore, 2018. Dostupno s: <https://www.ericsson.hr/20180126-5g-plan> (studeni 2018.)
- [50] Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle: Potrošači očekuju stapanje stvarnosti, 2017. Dostupno s: <https://www.ericsson.hr/20170628-stopljena-stvarnost> (studeni 2018.)
- [51] Nokia: Start 5G deployment with an eye on the future, 2018. Dostupno s: <https://onestore.nokia.com/asset/202255> (studeni 2018.)
- [52] Nokia: Digital design for 5G: A disruptive use case-driven approach, 2018. Dostupno s: <https://onestore.nokia.com/asset/205313> (studeni 2018.)
- [53] A GSA Executive Report from Ericsson, Huawei and Qualcomm: The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development, 2015. Dostupno s: https://www.huawei.com/minisite/5g/img/GSA_the_Road_to_5G.pdf (studeni 2018.)

[54] AT&T Business Editorial Team : How 5G will impact the transportation industry, 2018. Dostupno s: <https://www.business.att.com/learn/secure-networking/how-5g-will-impact-the-transportation-industry.html> (studeni 2018.)

[55] Službeni list europske unije: Mišljenje Europskog gospodarskog i socijalnog odbora o „Komunikaciji Komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija – 5G za Europu – akcijski plan”, 2017. Dostupno s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A52016AE5212> (studeni 2018.)

[56] Knezović G.: 5G u EU: Akcijski plan za uvođenje komercijalnih 5G usluga, 2017. Dostupno s: <https://mreza.bug.hr/5g-u-eu-akcijski-plan-za-uvodenje-komercijalnih-5g-usluga/> (studeni 2018.)

[57] Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle: Ericsson i partneri ostvarili važan korak na putu prema 5G komercijalnom radu u Sjevernoj Americi, 2018. Dostupno s: <https://www.ericsson.hr/20180917-5g-amerika> (studeni 2018.)

[58] Tomić D.: Vipnet u Jastrebarskom izvršio testiranja 5G frekvencija, 2017. Dostupno s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/vipnet-u-jastrebarskom-izvrsio-testiranja-5g-frekvencija> (studeni 2018.)

[59] Deželić V.: Nokia i Tele2 dogovorili dugoročno 5G i IoT partnerstvo, 2018. Dostupno s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/nokia-i-tele2-dogovorili-dugorocno-5g-i-iot-partnerstvo> (studeni 2018.)

Popis slika

Slika 1: Mogućnosti 5G mreže	4
Slika 2: A, b, c i d opcije mrežne arhitekture 5G sustava	7
Slika 3: Globalni prikaz 5G frekvencijskih opsega	10
Slika 4: Arhitektura M2M komunikacija	12
Slika 5: Prikaz 5G mrežnog slaganja	13
Slika 6: Dostupnost 5G uređaja	15
Slika 7: 5G usluge	18
Slika 8: Povećanje brzine prijenosa podataka usporedno s povećanjem frekvencijskog opsega	22
Slika 9: Gigabit LTE	24
Slika 10: Prikupljanje nosioca signala od LTE verzije 8 do 5G mreže	25
Slika 11: Otisak pokrivanja 5G signalom	28
Slika 12: Troškovi implementacije mreže	30
Slika 13: Veličina antena usporedno s izlaznom snagom	33
Slika 14: Zahtjevi VS/PS aplikacije bazirane u oblaku	39
Slika 15: Zahtjevi aplikacija autonomnog upravljanja vozilom	41
Slika 16: Zahtjevi aplikacija za automatizaciju industrije	44
Slika 17: Zahtjevi aplikacije vezane uz zdravstvo	46
Slika 18: Zahtjevi aplikacije vezane uz pametni grad	48
Slika 19: IoE koncept	49
Slika 20: Ciljevi 5G mreže	51
Slika 21: 5G standardizacijski plan po 3GPP standardu	57

Popis tablica

Tablica 1: Razlike u snazi ćelija	5
Tablica 2: Vrste sadržaja	20
Tablica 3: Poboljšanja uvedena novim verzijama mreža	23
Tablica 4: Usporedba nesamostalne i samostalne opcije 5G arhitekture	37
Tablica 5: PS/VS evolucija i zahtjevi za povezivanjem	40
Tablica 6: Usporedba 5G i DRSC tehnologije	42
Tablica 7: Tehnologije razvoja korisničkih slučajeva	53

Popis grafikona

Grafikon 1: Rast kapaciteta mreže usporedno sa dodavanjem malih ćelija	8
Grafikon 2: Razina latencije između 4G i 5G mreža	16
Grafikon 3: Usporedba brzina prijenosa podataka između 5G i ostalih mreža	16
Grafikon 4: Globalno predviđanje rasta prometa do 2023. godine	21
Grafikon 5: Relativni kapacitet i troškovna učinkovitost evolucijskih razvoja	27
Grafikon 6: Vrijednosni utjecaj 4G i 5G mreže	32
Grafikon 7: Prosječne performanse mreže na rubovima ćelija izražene u Mbit/s	33

Popis kratica

AR (Augmented Reality) proširena stvarnost

AU (Access Unit) ulazna jedinica

CPS (Cyber-Physical System) kiber-fizički sustav

DSRC (Dedicated Short Range Communication System) kratko dometni sustav komunikacije između vozila i infrastrukture

D2D (Device to Device) komunikacija između terminalnih uređaja

EPC (Evolved Packet Core) evoluirana paketska mreža

FDMA (Frequency Division Multiple Access) višestruki pristup sa frekvencijskom raspodjelom signala

FWA (Fixed Wireless Access) fiksni bežični uređaji

GBA (Global Billing Association) industrijska organizacija

HDR (High Dynamic Range) prikaz slike u visokoj rezoluciji

HFR (High Frame Rate) okviri visoke rezolucije

HSPA (High Speed Packet Access) tehnologija brzog paketskog pristupa

HT (Hrvatski telekom)

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

IETF (Internet Engineering Task Force)

IoE (Internet of Everything) Internet svega

IoP (Internet of People) Internet ljudi

IoS (Internet of Services) Internet usluga

IoT (Internet of Things) Internet stvari

IP (Internet Protocol) Internet protokol

KT (Korea Telecom)

LAA (Licence Assisted Access hub) pristup licenciranom čvoru mreže

LiDAR (Light Detection and Ranging) optički mjerni instrument koji odašilje laserske zrake

LoS (Line of Sight) vidno polje

LTE (Long Term Evolution) dugoročna evolucija

LTE – A (LTE Advanced) napredna dugoročna evolucija

LTE – U (LTE Unlicensed) nelicencirana dugoročna evolucija

MIMO (Multiple Input Multiple Output) antenske konfiguracije višestrukog ulaza i višestrukog izlaza

MTC (Machine Type Communication) način komunikacije među strojevima

M2M (Machine to Machine) komunikacija između strojeva

NFV (Network Function Virtualisation) virtualizacija mrežnih funkcija

NPV (Net Present Value) neto sadašnja vrijednost

NRF (Network Repository Functions) funkcije repozitorijskih mreža

PLMN (Public Land Mobile Network) javna zemaljska mobilna mreža

PPP (Private Partnership Project)

P2M (People to Machine) način komunikacije između ljudi i strojeva

P2P (People to People) komunikacija između ljudi

R&D (Research and Development) koncept istraživanja i razvoja

SDN (Software Defined Networks) softverski definirane mreže

SON (Self-Organising Network) samoorganizirajuća mreža

SRAN (Single Radio Access Network)

TDD (Time Division Duplex) dvosmjernog prijenosa podataka pomoću vremenske podjele kanala

TDMA (Time Division Multiple Access) višestruki pristup sa vremenskom raspodjelom signala

UAV (Unmanned Aerial Vehicles) globalno tržište bespilotnih letjelica

VR (Virtual Reality) virtualna stvarnost

V2V (Vehicle to Vehicle) komunikacija između vozila

V2X (Vehicle to X) komunikacija između vozila i infrastrukture

Wi-Fi (Wireless-Fidelity) bežični pristup Internetu

3GPP (The 3rd Generation Partnership Project)

5GC (5G Core Network) 5G jezgrena mreža

5G NR (5G New Radio) 5G novi radijski pristup

5G NSA (5G Non-Standalone) nesamostalan 5G koncept koji se kombinira uz još jednu mobilnu mrežu, npr LTE

